

Vesa-Matti Tala

PROPULSIOLAITTEIDEN LUOKITUKSET JA TARKASTUKSET

Opinnäytetyö
Merenkulkualan insinööri

Helmikuu 2016



Tekijä/Tekijät	Tutkinto	Aika
Vesa-Matti Tala	Insinööri, merenkulku	Helmikuu 2016
Opinnäytetyön nimi		49 sivua
Propulsiolaitteiden luokitukset ja tarkastukset		
Toimeksiantaja		
Kymi Technology		
Ohjaaja		
Lehtori Ari Helle		
Tiivistelmä <p>Propulsio ja sen tuotto ovat aluksen toimintojen peruselementtejä. Siksi luokituslaitokset ja muut valvovat viranomaiset kohdistavat propulsiolaitteille liudan vaatimuksia ja ominaisuuksia, joita niiltä vaaditaan. Tämän insinöörityön tavoitteena on koota yhteen ja tarkastella vaatimuksia, joita viranomaiset ovat asettaneet propulsiolaitteille.</p> <p>Merenkulku- ja laivatekniikan alan kirjallisuus on toiminut tässä työssä päälähteenä propulsio- ja laivatekniikan teoreettisen osuuden selvittämisessä. Viranomaisten vaatimuksien ja luokituslaitoksien sääntöjen etsimiseen internetlähteet olivat pääosassa, koska säännösten ajankohtaisuus ja voimassaolo oli täten helpommin todettavissa päivitetyn tiedon löytyessä ensimmäisenä.</p> <p>Merenkulkuala elää muutoksen aikaa. Voidaan odottaa, että uudet laitteistot ja konseptit tulevat luomaan painetta viranomaisille määräyksien päivityksille. Säännöt tulevat mukautumaan ja päivittymään sitä mukaan, kun uusia laitteistoja ja innovaatioita saapuu markkinoille.</p>		
Asiasanat		
propulsio, propulsiolaitteet, luokitus, luokituslaitos		

Author (authors)	Degree	Time
Vesa-Matti Tala	Bachelor of Marine Technology	February 2016
Thesis Title		
Inspection and Classification of Propulsion Machinery		49 pages
Commissioned by		
Kymi Technology		
Supervisor		
Ari Helle, Senior Lecturer		
Abstract		
<p>Propulsion and its generation are the main functions onboard. Therefore, classification societies and authorities have executed numerous regulations and laws for propulsion machinery and its properties. The rules, requirements and inspection procedures of the propulsion machinery are allocated to their specific components. In this bachelor's thesis only the most important rules and requirements are presented. The aim of this thesis is to research the requirements for propulsion machinery and the classification process.</p> <p>The literature review of the theory of propulsion and propulsion machinery was based on the literature sources of maritime sector. Several internet sources and RuleFinder software by Lloyd's Register were used to collect the newest regulations and laws published by classification surveys and authorities.</p> <p>The maritime field is facing stricter economic, environmental and technological requirements in the future. New concepts and innovations are needed in order to meet the requirements. At the same time, this creates pressure for classification societies and authorities to update and make changes to their regulations and laws.</p>		
Keywords		
propulsion, propulsion machinery, classification, classification society		

SISÄLLYS

KÄYTETYT LYHENTEET	6
1 JOHDANTO	7
2 PROPULSIOJÄRJESTELMÄT	8
2.1 Propulsio.....	8
2.2 Mekaaninen propulsiojärjestelmä	10
2.3 Sähköinen propulsiojärjestelmä	11
3 PROPULSIOLAITTEITA	13
3.1 Kääntyvät propulsiolaitteet.....	13
3.1.1 Azipod.....	14
3.1.2 Aquamaster	15
3.2 Kiinteälapainen potkuri	17
3.3 Säätsiipipotkurit	18
3.4 Muut propulsiolaitteet.....	19
4 VALVOVAT VIRANOMAISET	21
4.1 Luokituslaitokset	21
4.2 Liikenteen turvallisuusvirasto Trafi.....	22
5 LUOKITUSLAITOKSIEN JA TRAFIN VAATIMUKSET PROPULSIOLAITTEILLE	23
5.1 Propulsiojärjestelmä	23
5.1.1 Määritelmät ja häiriötilat	23
5.1.2 Propulsiojärjestelmän suunnittelulähtökohdat.....	24
5.1.3 Propulsiojärjestelmän rakenne.....	25
5.1.4 Sähkön tuotto ja jakelu.....	26
5.1.5 PMS	27
5.1.6 Apu- ja tukivarajärjestelmät.....	27
5.2 Propulsion, aluksen ohjauksien ja apukoneistojen ohjaus	28
5.3 Potkurit ja säätsiipipotkurit	28
5.4 Podit ja azimuth-thrusterit	29
5.5 Aluksen ohjaus	30

5.6	Kommunikointivälineet.....	31
5.7	Automatisointia ja E0-konehuoneita koskevia säädöksiä	31
5.8	Rakenteellisia vaatimuksia	32
5.8.1	Potkuriakselit	32
5.8.2	Potkuri ja potkurin lavat.....	33
5.8.3	Podit ja azimuth-trusterit	33
6	LUOKITUS JA TARKASTUS	34
6.1	Ennen tarkastusta.....	34
6.2	Tarkastettavat kohteet	34
6.2.1	Potkuriakselit	34
6.2.2	Potkuri ja säätösiipipotkuri	38
6.2.3	Podit.....	39
6.2.4	Peräsin.....	40
6.3	Tarkastusmenetelmät ja -tavat	40
6.3.1	Potkuriakselin vetäminen	40
6.3.2	Voiteluöljyanalyysit	41
6.3.3	NDT-menetelmät	42
7	YHTEENVETO	45
8	LÄHTEET	46

KÄYTETYT LYHENTEET

C°	Celsius-aste.
d	Halkaisija.
EU	Euroopan Unioni.
IACS	International Association of Classification Societies. Luokitustilaitoksien kattojärjestö.
IMO	International Maritime Organization. Kansainvälinen merenkulkujärjestö.
g/cm ³	Grammaa per kuutiosenttimetri.
kW	Kilowatti.
mm	Millimetri.
NDT	Nondestructive Testing. Ainetta rikkomaton koestus.
N/mm ²	Newton per neliömillimetri.
P	Akseliteho.
PMS	Power Management System. Sähkötehon ohjailuysikkö.
R	Potkurin kierrosnopeus kierros/minuutti (RPM).
RP-sääntö	Redundant Propulsion-sääntö. DNV GL:n sääntöluokka.
RPS-sääntö	Redundant Propulsion and Separate-sääntö. DNV GL:n sääntöluokka.
UPS	Uninterruptible Power Supply. Järjestelmä, joka takaa katkeamattoman virransyötön sähköjärjestelmän katkoksen tai häiriön sattuessa.
σ_u	Materiaalikohtainen murtolujuus

1 JOHDANTO

Propulsio ja sen tuotto on laivan operoinnin kannalta tärkeä osa-alue. Ilman sitä aluksen liikuttaminen ja ohjailu olisi mahdotonta tai ainakin hyvin vaikeaa. Viranomaiset ovat asettaneet lukuisia vaatimuksia ja määräyksiä propulsiolaitteille. Vaatimusten ja määräysten tavoite on parantaa meriliikenteen turvallisuutta. Toimiva aluksen ohjailukyky on ehdoton vaatimus aluksen merikelpoisuudelle ja siksi propulsiolaitteiden kunnossapito ja määräyksien noudattaminen nousee merkittävään rooliin.

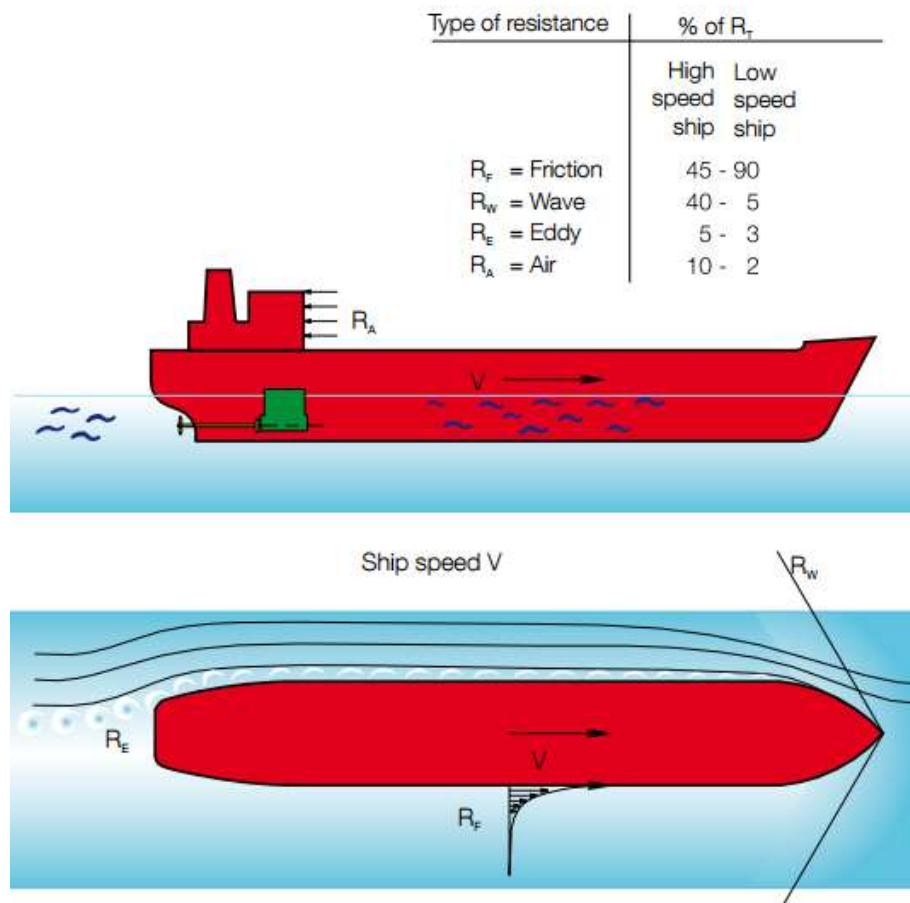
Tässä työssä tutkin propulsio- teorian, yleisimpiä propulsiolaitteita ja kerään ominaisuuksia, joita hyvältä propulsiolta vaaditaan. Työssäni perehdyn luokituslaitoksien vaatimuksiin ja siihen kuinka aluksien propulsiolaitteiden luokittaminen suoritetaan. Tavoitteenani on koostaa tietopaketti edellä mainituista aiheista.

Työssäni käytän useita meritekniikan kirjallisuuslähteitä ja internetistä löytyvää aiheeseen liittyvää ajankohtaista lähdeaineistoa. Luokituslaitoksien sääntöjä on vaikeaa saada aineistoksi, koska lähtökohtaisesti säännöt ja määräykset ovat luokituslaitoksien sisäistä materiaalia. Näin ollen työni merkittävänä lähteenä käytän ohjaajaltani Ari Helteeltä saamaani Lloyd's Registerin RuleFinder –sovellusta, jonka avulla oikeiden sääntöjen ja vaatimusten löytäminen helpottui huomattavasti. En nähnyt tarpeelliseksi käyttää useamman luokituslaitoksen sääntökokoelmaa hyväkseni, koska lähtökohtaisesti määräykset ja vaatimukset ovat samat luokituslaitoksesta riippumatta.

2 PROPULSIOJÄRJESTELMÄT

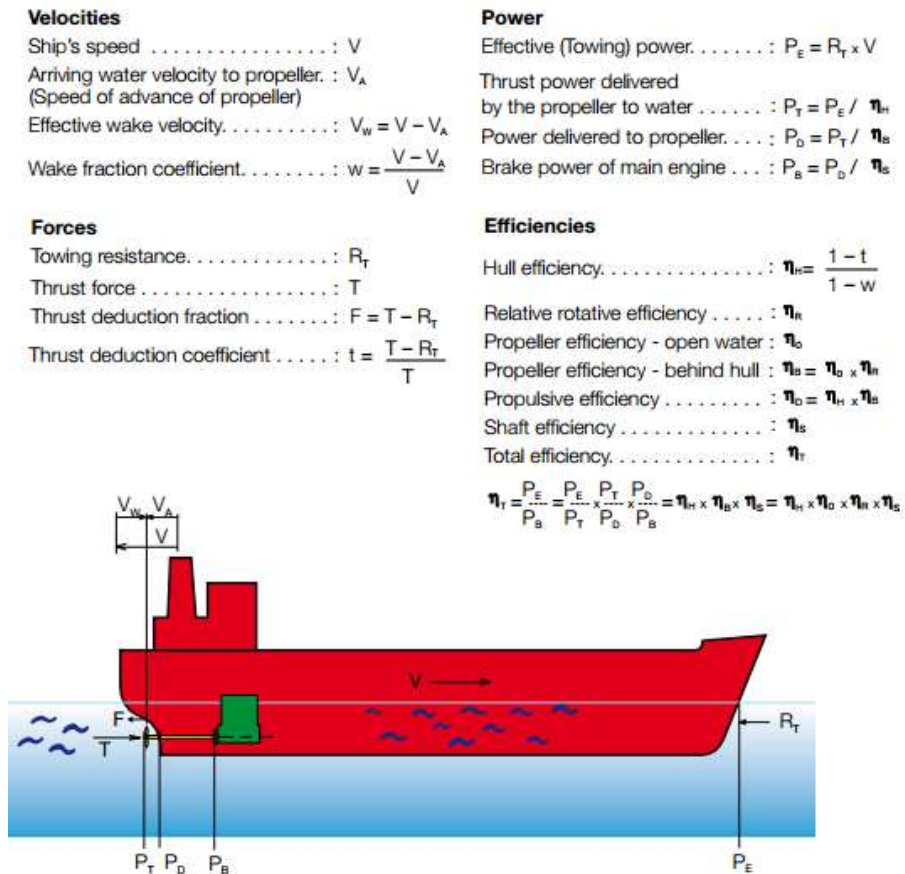
2.1 Propulsio

Vaihtelevissa meriolosuhteissa laivan kulkuun vaikuttavat monet ilmiöt ja tekijät kuten esimerkiksi tuuli, aallokko, merivirta, meriveden korkeus ja joissain tilanteissa myös toiset alukset. Ideaalitilanteessa laiva kulkee vakionopeudella, jolloin Newtonin lakien mukaan kaikkien laivaan kohdistuvien momenttien ja voimien summa on nolla. Voidaan todeta, että aluksen kulkua vastustavien voimien ja propulsiolaitteen tuottaman työntövoiman summa tulee olla nolla, jotta alus kulkisi vakionopeudella. Alukselta käsin tuotettavaa työntövoimaa, jota tarvitaan aluksen kiihdyttämiseen ja kulkuvastuksen kumoamiseen, kutsutaan propulsioksi. (Matusiak 2005, 1, 3)



Kuva 1. Aluksen kulkua vastustavat voimat (MAN 2015, 11).

Liikemääräteorian avulla voidaan mallintaa useampien propulsiolaitteiden toimintaperiaatteita. Propulsiolaite kiihdyttää veden massavirtaa taaksepäin, mikä aiheuttaa propulsorin (potkuri tai potkurilaite) pintaan kohdistuvan reaktiivoiman. Tämä reaktiivoima saa aluksen kulkemaan eteenpäin. (Matusiak 2005, 3)



Kuva 2. Aluksen kulkuun vaikuttavia voimia ja propulsio (MAN 2015, 14).

Hyvältä propulsiolaitteelta vaaditaan seuraavia ominaisuuksia:

- tasainen työntövoima
- korkea hyötysuhde
- helppo ja nopea säädettävyys
- yhteensopivuus aluksen rungon kanssa
- kestävyys ja redundanttisuus kaikissa aluksen toimintaolosuhteissa
- edulliset investointi- ja huoltokustannukset

- hiljainen ja mahdollisimman värähtelemätön toiminta.

Toimintaperiaatteidensa mukaisesti laivan propulsiojärjestelmät voidaan pääsääntöisesti jakaa mekaanisiin ja sähköisiin propulsiojärjestelmiin. (Matusiak 2005, 3)

2.2 Mekaaninen propulsiojärjestelmä

Mekaanisella propulsiojärjestelmällä (konventionaalinen propulsiojärjestelmä) tarkoitetaan propulsiojärjestelmää, jossa voimansiirto potkurille tapahtuu akselin avulla suoraan koneelta. Voimansiirto koneelta propulsorille voidaan toteuttaa, joko suoralla kytkennällä, vaihteistolla tai kytkimien kautta. Verrattuna sähköiseen propulsiojärjestelmään, mekaaninen propulsiojärjestelmä tarvitsee erikseen ohjailuperäsimen tai -peräsimet. Mekaaninen propulsiojärjestelmä tarvitsee myös akselilinjauksen ja akselilinjan tuennan. (Laitala 2010, 14)

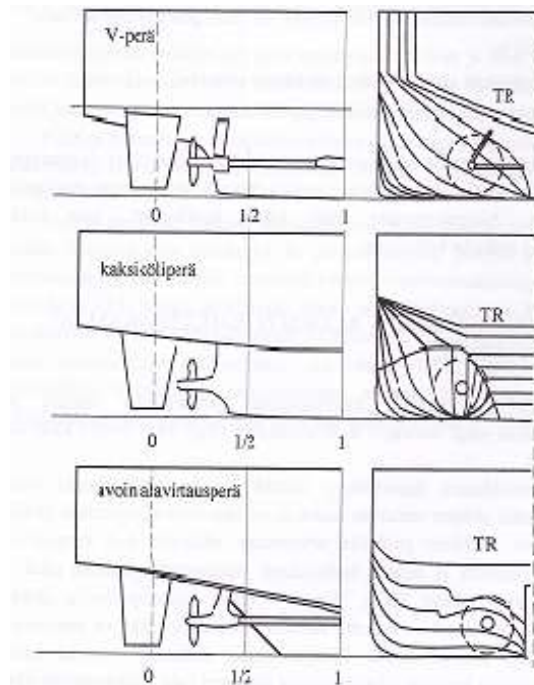


Kuva 3. Esimerkki mekaanisesta propulsiojärjestelmästä (Marine Insight 2011).

Laivan propulsiojärjestelmänä mekaaninen propulsiojärjestelmä on hyvin yleinen ja siten myös hyvin tunnettu. Sen merkittävin etu on tehokkuus ja hyvä hyötysuhde. Mekaanisella propulsiojärjestelmässä on vain vähän tehohäviötä, koska koneen ulostulevasta tehosta saadaan noin 95–98 % suoraan potkurille. (Laitala 2010, 15)

Mekaanisen propulsiojärjestelmän haittoina voidaan pitää ylimääräisiä virtausvastuksia, jotka syntyvät ohjailuperäsimestä ja akselilinjauksen tuennasta. Potkuriakselin päähän kiinnitetty potkuri on merenpohjan suuntaan kulmassa, jolloin sen asento ei ole optimaalinen aluksen pohjan alla olevien virtauksien

suhteen. Tämä syö vähän potkurin tehoa. Verrattuna sähköiseen propulsiojärjestelmään, mekaaninen propulsiojärjestelmä on konehuoneesta enemmän tilaa vievä propulsioratkaisu akselilinjauksensa vuoksi. (Laitala 2010, 1; Hepo-oja & Mäki-Kuutti 2012, 24–25)



Kuva 4. Peräsimet ja akselien tuennat kaksiakselisessä laivassa (Matusiak 2005, 127).

2.3 Sähköinen propulsiojärjestelmä

Sähköinen propulsiojärjestelmä on dieselmoottorin, generaattorin ja sähkömoottorin muodostama kokonaisuus. Dieselmoottoriin on kytketty generaattori, jolla tuotetaan propulsiolaitteen tarvitsema sähkö, joka taas syötetään päätauluun. Sieltä se syötetään kaapeleilla muuntajien kautta, joko sähköiseen ruoripotkuriin (esimerkiksi Azipodiin) tai sähkömoottoriin. Sähkömoottori taas pyörittää akselia, jonka toiseen päähän on kiinnitetty propulsori. (Hepo-oja & Mäki-kuutti 2012, 26)



Kuva 5. Diesel-sähköisen propulsiojärjestelmän mallinnus (The Motorship 2015).

Dieselmoottorien lukumäärä vaihtelee aluskohtaisesti. Samalla diesel-generaattori-yhdistelmällä tuotetaan koko aluksen tarvitsema sähkö päätaululle, josta se ohjataan kuluttajille. Dieselmoottorien lukumäärän tulee olla täten riittävä aluksen sähköntuotantoon kaikissa olosuhteissa. (Hepo-oja & Mäki-kuutti 2012, 26; Laitala 2010, 15)

Sähköisen propulsiojärjestelmän etuna on sen hiljaisuus ja värinättömyys verrattuna mekaaniseen propulsiojärjestelmään. Siksi se onkin hyvin yleinen ratkaisu risteilijöissä, joissa matkustajamukavuus on tärkeä kriteeri propulsiojärjestelmän valinnalle. Mekaanisen propulsiojärjestelmän pääkone on yleensä dieselmoottoreita kookkaampi ja meluisampi. Sähköisen propulsiojärjestelmän suuri etu on tilankäytön joustavuus. Koska akselilinjauksia ei tarvita, diesel-generaattorit ja muuntajat voidaan sijoittaa vapaasti aluksen konehuoneessa. Jääolosuhteissa ajettaessa jään aiheuttamat iskut potkurille eivät aiheuta rasituksia akselia pitkin itse pääkoneelle. Tämän edun vuoksi sähköinen propulsiojärjestelmä onkin suunniteltu alun perin jäänmurtajakäyttöön. (Hepo-oja & Mäki-kuutti 2012, 26; Laitala 2010, 15)

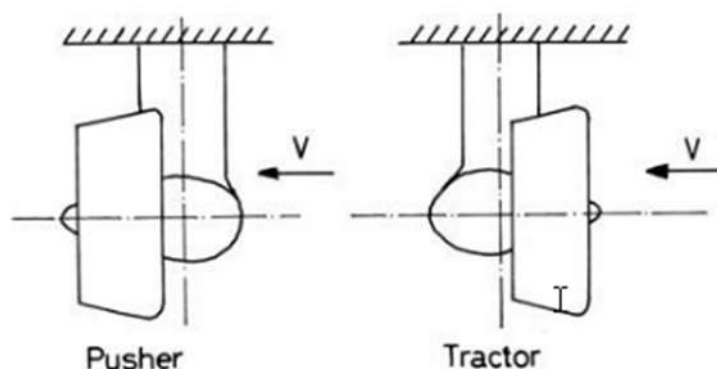
3 PROPULSIOLAITTEITA

3.1 Kääntyvät propulsiolaitteet

Kääntyvillä propulsiolaitteilla tarkoitetaan propulsiolaitetta, joka pystyy kääntymään 360° oman pystyakselinsa ympäri. Alus, jolla on kääntyvä propulsiolaite, ei tarvitse erillistä peräsintä, koska kääntyvällä propulsiolaitteella huolehditaan samalla aluksen ohjailusta. (Hepo-oja & Mäki-kuutti 2012, 8)

Kääntyvä propulsiolaite koostuu potkurista (avo- tai suulakepotkuri), navasta (podi) ja kannattajasta. Itse potkuri voi olla kiinteälapainen tai säätösiipipotkuri. Propulsiolaite voi olla tyypiltään ”työntävä” (kuva 2. Pusher) tai ”vetävä” (kuva 2. Tractor). Hydrodynaamisten ominaisuuksien perusteella vetävä potkurilaitte on todettu hieman työntävää propulsiolaitetta paremmaksi. (Matusiak 2005, 109, 112)

Voiman- ja tehonsiirto potkurille toteutetaan sähköisesti tai mekaanisesti akselien välityksillä. Sähköisessä toteutuksessa podin sisällä olevaan sähkömoottoriin syötetään sähköä, joka pyörittää podissa kiinni olevaa potkuria (esimerkiksi Azipod, kohta 3.1.1). Mekaanisessa toteutuksessa (esimerkiksi Aquamaster, kohta 3.1.2) voima otetaan pääkoneilta akseleilla yhdellä tai kahdella kulmavaihteella. (Carlton 2007, 17–18; Matusiak 2005, 109)

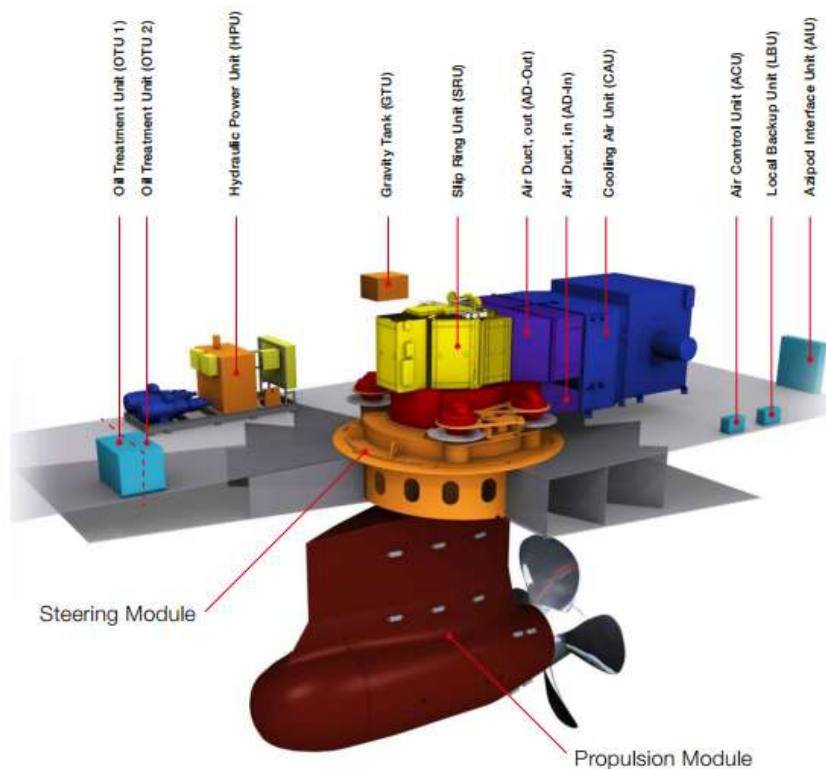


Kuva 6. Työntävä (pusher) ja vetävä (tractor) kääntyvä propulsiolaite (Carlton 2007, 18).

Kääntyvän propulsiolaitteen etuina voidaan pitää erittäin hyviä hydrodynaamisia ominaisuuksia. Akselituennan puuttuessa aluksen virtausvastus pienenee, mikä parantaa aluksen kulkua ja hydrodynamiikkaa. Myös tärinät ja melu vähenevät potkurin ja sen akselin tuennan puuttuessa. Yksi kääntyvän propulsiolaitteen etu on erittäin hyvä ohjailukyky, jonka vuoksi kääntyvät propulsiolaitteet ovatkin hyvin yleisiä aluksissa, joilta vaaditaan hyvää ohjailu- ja paikallaolokykyä, esimerkiksi risteilijöissä, jäänmurtaajissa ja porauslautoissa. (Matusiak 2005, 109)

3.1.1 Azipod

Azipod on ABB:n kehittämä sähköinen propulsiojärjestelmä, joka asennetaan aluksen rungon ulkopuolelle. Azipodin koostuu ohjailuysiköstä ja potkurista. Ohjailuysikkö pyörii 360° oman pystyakselinsa ympäri. Ohjailuysikön sisään on rakennettu sähkömoottori, joka pyörittää akselivälityksellä potkuria. Pyörimisnopeutta voidaan säätää portaattomasti. (ABB 2015a; Hepo-oja & Mäki-kuutti 2012, 10)



Kuva 7. Azipod VI-sarjan rakenteen esimerkkijärjestely (ABB 2010, 10).

Azipodille annetaan komentosillalta ohjauskulma niin kutsutulla Azimuth-kahvalla, jossa on suunnan ohjauksen lisäksi myös potkurin pyörimisnopeuden säätö. Ohjaus voidaan toteuttaa Azimuth-kahvan lisäksi ruorilla, automaattilla tai joystickillä. Annetun ruorikulmakäskyn mukaisesti ohjausmoottorit kääntävät podia, kunnes haluttu kulma on saavutettu. Jos annettu ohjauskulma on suurempi kuin 180°, Azipod kääntyy lyhyimmän reitin mukaisesti haluttuun ohjauskulmaan. (Oksanen 2013, 21)

ABB:n mukaan Azipodeilla voidaan saavuttaa pienempi polttoaineen kulutus, sekä pienentää huomattavasti melu- ja värähtelytasoja. Aziodien avulla saavutetaan sama kulkunopeus pienemmällä tehon määrällä. Edellä mainittujen ominaisuuksien ja Azipodin kompaktin koon avulla ABB lupaa jopa 5–15 % säästöjä koko aluksen energiankulutuksessa. (ABB 2015a)

Ensimmäinen Azipod on asennettu väylänhoitoalus Seiliin. Matkustajalaivoihin Azipodit asennettiin ensimmäisen kerran silloisen Masa Yardsin Helsingin telakalla 1990-luvulla rakennettuihin risteilijöihin. Tuolloiset asennukset paransivat kyseisten risteilijöiden propulsiojärjestelmän hyötysuhdetta 5–8 % verrattuna saman risteilijäsarjan aikaisempien propulsiojärjestelmien hyötysuhteisiin. (ABB 2015a; Hepo-oja & Mäki-kuutti 2012, 10)

Nykyään Azipodeja on asennettu yli 100 alukseen ja niistä on kerätty yli seitsemän miljoonan käyttötunnin kokemus. Azipodeja käytetään yleensä aluksissa, joilta vaaditaan hyvää ohjailukykyä. Näin ollen Azipodit ovat hyvin yleisiä jäänmurtaajissa, risteilijöissä, porauslautoilla ja tutkimusaluksilla. (ABB 2015a)

3.1.2 Aquamaster

Yleensä Aquamasterin voimansiirto on toteutettu mekaanisesti akselien ja hammaspyörien, sekä kytkimien ja vaihteiden välityksellä potkurille. Tämä onkin merkittävin ero verrattaessa Aquamasteria Azipodiin. Aquamaster voi olla tyypiltään Azipodien tapaa vetävä tai työntävä. (Hepo-oja & Mäki-kuutti 2012, 14–15; Rolls Royce 2015b)

Aquamaster voidaan jakaa kahteen järjestelmätyyppiin: Z- ja L-järjestelmään. Näiden kahden järjestelmän erona on lähinnä akselien lukumäärä. Z-järjestelmässä on kolme akselia ylä- ja alavaaka-akselit, sekä pystyakseli. L-järjestelmätyypin Aquamasterista puuttuu yläpuolinen vaaka-akseli. Z-järjestelmän propulsiojärjestelmä on diesel-mekaaninen tai diesel-sähköinen, kun taas yleensä L-järjestelmien propulsiojärjestelmä on diesel-sähköinen. Aquamasterin tyylisiä propulsiolaitteita on käytetty myös aluksen thrustereina ja take me home-varapropulsiona. (Hepo-oja & Mäki-kuutti 2012, 14–15; Rolls Royce 2015b)



Kuva 8. Azimuth-thrusteri (Rolls-Royce 2015a).

3.2 Kiinteälapainen potkuri

Kiinteälapainen potkuri on propulsiolaitteena erittäin perinteinen. Sen rakenne on erittäin yksinkertainen ja toimintaperiaatteeltaan se on varmatoiminen. Potkurin lavat on asennettu kiinteästi potkurin napaan, joka taas on asennettu potkuriakselin päähän. Potkurin navan ja lapojen välistä liitoskohtaa kutsutaan lavan juureksi. (Matusiak 2005, 12)

Potkurin lapojen lukumäärä vaihtelee alustyyppin ja sen käyttötarkoituksen mukaan. Yleensä kiinteälapaisessa potkurissa on lapoja 2–7 kappaletta. Kauppalaivoissa lapoja on yleensä 4–6 kappaletta. Pienemmissä aluksissa, esimerkiksi kalastusalukset ja huviveneet, on yleensä 2–3 lapaisia potkureita. (Carlton 2012, 12–13)



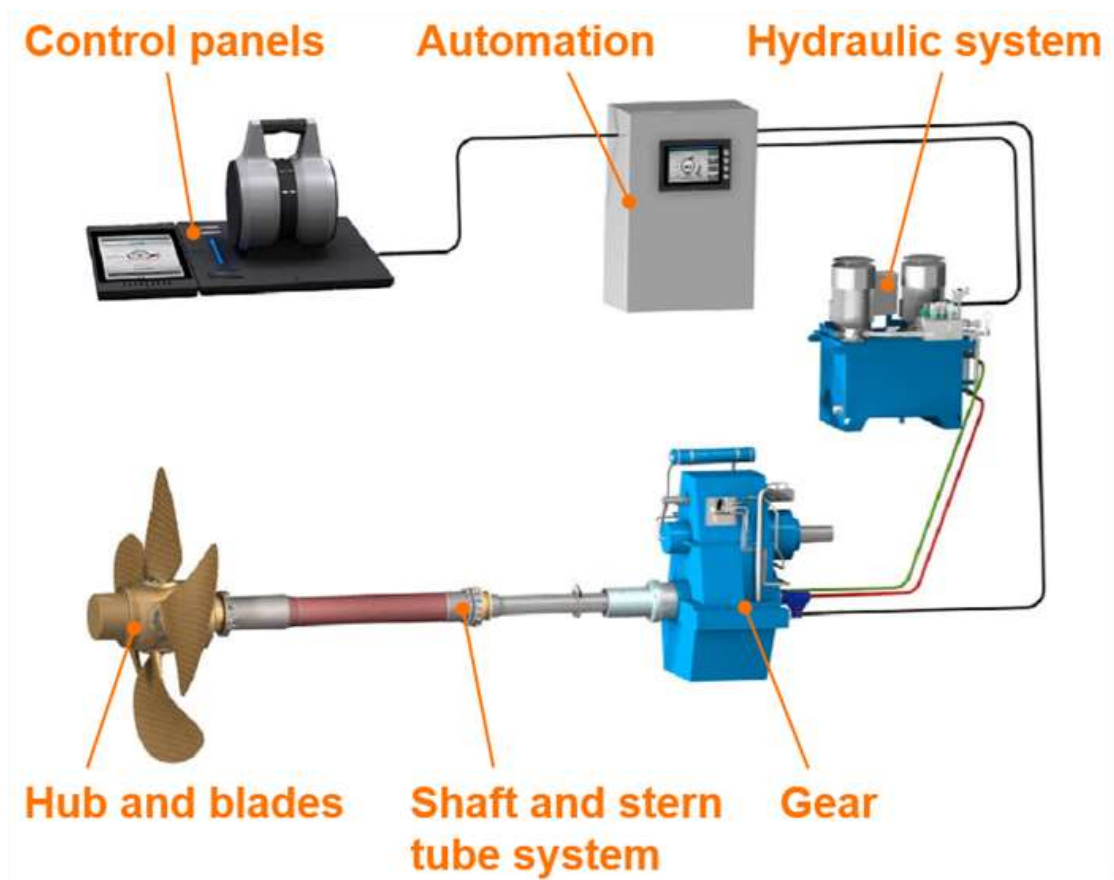
Kuva 9. Kiinteälapainen potkuri (Marine Insight 2010).

Kiinteälapaista potkureita pyöritetään potkuriakselilla. Näin ollen myös potkurin suunnan vaihdokset suoritetaan vaihtamalla potkuriakselin pyörimissuuntaa. Tämän vuoksi alus, jolla on kiinteäsiipinen potkuri, on manoveerauskyvyltään heikompi verrattuna esimerkiksi kääntyvillä ruoripotkurilaitteilla varusteltuun alukseen. Siksi kiinteälapaista potkureita käytetään enimmäkseen suurissa aluksissa, joilta ei edellytetä merkittävää manoveerauskykyä. Tällaisia aluksia ovat esimerkiksi suuret tankkerit, jotka lastataan ja puretaan poijuissa tai alukset, jotka satamaan tullessa ja lähdössä avustetaan hinaajin. (Carlton 2012, 12–13; Matusiak 2005, 12)

3.3 Säätsiipipotkurit

Siinä missä kiinteälapaisen potkurin säätö ja ohjaus rajoittuu potkuriakselin pyörimissuuntaan, voidaan säätsiipipotkurin nousua muuttaa potkurin lapoja kääntämällä. Ulkonäöltään säätsiipipotkuri muistuttaa hyvin paljon kiinteälapaista potkuria. Näillä kahdella potkurimallilla on kuitenkin rakenteellisia ja toimintaperiaatteellisia eroja. (Carlton 2012, 19; Matusiak 2005, 34)

Säätsiipipotkurin lavat ovat irrallisia (vrt kiinteälapainen potkuri) ja ne on istutettu säätsiipipotkurin napaan. Potkurin napa on halkaisijaltaan huomattavasti kookkaampi kuin kiinteälapaisen potkurin napa. Tämän aiheuttaa potkurin navan sisällä oleva koneisto, joka kääntää potkurin lapoja. Potkurin lapoja käännetään hydraulisesti. Verrattuna kiinteälapaiseen potkuriin säätsiipipotkurin suurempi potkurin napa aiheuttaa enemmän hydrodynaamisia ongelmia, kuten esimerkiksi kavitointia. (Carlton 2012, 20)



Kuva 10. Säätsiipipotkurin laitteistokokoonpano (Wärtsilä 2015).

Kääntyvien lapojen ansiosta säätösiipipotkurin tehon säätö on portaaton. Koska ainoastaan potkurin lapojen asentoa säädetään, potkuriakselin pyörimisnopeus voidaan pitää vakiona. Tämä näkyy polttoaineen säästönä, koska pääkoneet käyvät tällöin vakiokierrosluvuilla. Lisäksi pääkoneita ei tarvitse varustaa suunnanvaihtokoneistoilla. (Matusiak 2005, 34)

Säätösiipipotkurilla on merkittäviä etuja kuten esimerkiksi:

- hyvät ohjailuominaisuudet (pysähdys, kiihdytys ja ohjailu)
- vakiotyöntö eri kuormituksissa
- alhaisempi bunkkerin kulutus
- propulsiokoneistot vapautetaan suunnanvaihtoilta
- pääkoneiden vakiokierrosnopeudet
- pääkoneiden vakiokierrosnopeudet mahdollistavat akseligeneraattorikäytön potkuriakselilla. (Matusiak 2005, 34)

Yhtenä säätösiipipotkurin haittana voidaan pitää monimutkaista rakennetta, jonka vuoksi, se tarvitsee enemmän huoltoa, kun verrataan kiinteälapaiseen potkuriin. Hinnaltaan se on myös kiinteälapaista potkuria kalliimpi propulsiovaihtoehto. Tämän lisäksi sillä on hieman huonompi hyötysuhde kuin kiinteälapaisella potkurilla. (Matusiak 2005, 34–35)

Tällä hetkellä säätösiipipotkureilla on 35 %:n markkinaosuus verrattaessa kiinteälapaisiin potkureihin. Säätösiipipotkuri on yleinen propulsioratkaisu matkustajalaivoissa ja -lautoissa, irtolastilaivoissa, hinaajissa ja troolareissa. (Carlton 2012, 19)

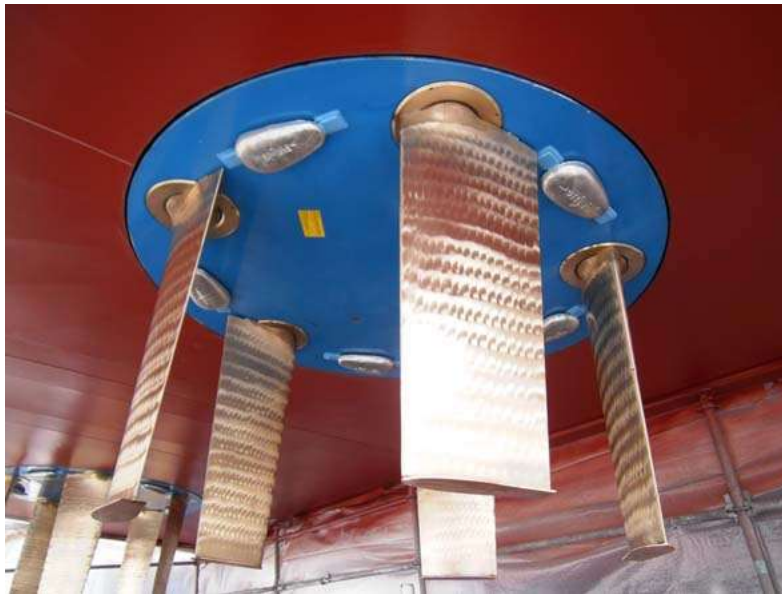
3.4 Muut propulsiolaitteet

Edellä mainittujen propulsiolaitteiden lisäksi on olemassa useita muita propulsiolaitteita, kuten esimerkiksi vesisuihkupropulsiojärjestelmä tai pystyakselinen propulsiolaitte, Voith Schneider.



Kuva 11. Vesisuihkupropulsori (The Motorship 2011)

Vesisuihkupropulsiojärjestelmät ovat yleisiä nopeissa aluksissa siviili- ja sotilaskäytössä. Voith Schneider taas on propulsiojärjestelmänä harvinainen, mutta sitä on käytetty yleensä hinaajissa ja joissakin sota-aluksissa. Molempia edellä mainittuja propulsiolaitteita vaivaa huonot tai melkein olemattomat jäissäkulkuminaisuuudet, jotka Suomen aluevesillä ovat tarpeellisia. Tässä insinööriyössä propulsiolaitteet rajattiin yleisimpiin propulsioratkaisuihin. (Carlton 2012, 21)



Kuva 12. Voith Schneider (Henderson 2011).

4 VALVOVAT VIRANOMAISET

4.1 Luokituslaitokset

Luokituslaitokset ovat itsenäisiä yrityksiä, jotka ovat toiminnassaan kansainvälisesti riippumattomia. Niiden tarkoitus ja tehtävä on turvata ihmishenkiä, omaisuutta ja ympäristöä tarkastamalla ja valvomalla aluksien kuntoa. Luokituslaitos kulkee aluksen mukana koko sen eliniän ajan alkaen suunnittelusta jatkuen käytön aikaiseen valvontaan. (Bjong 2011, 11)

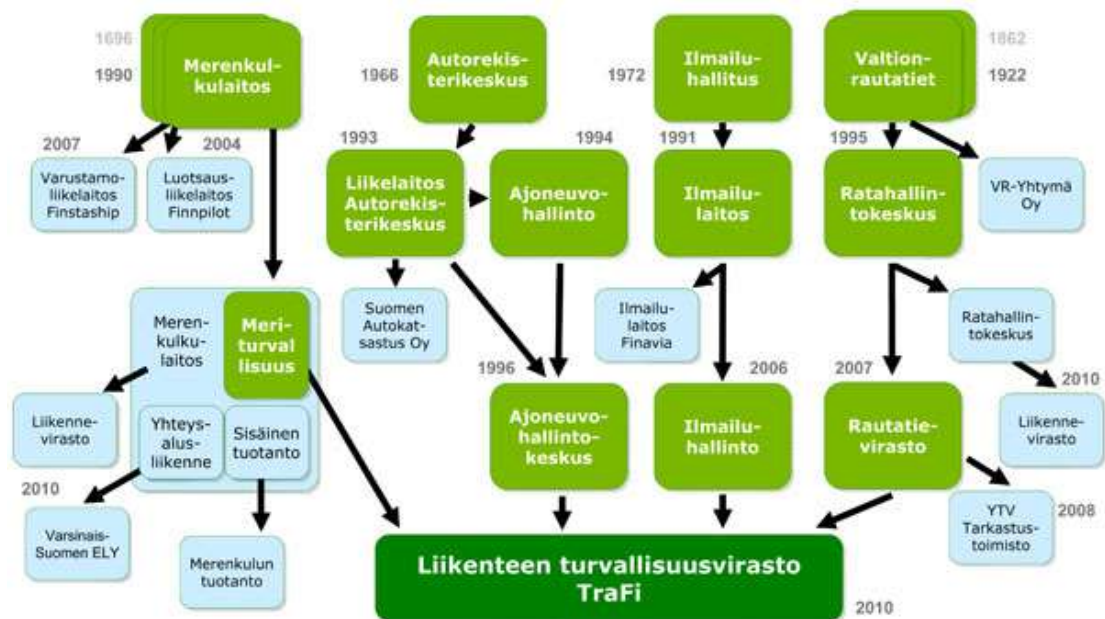
Luokituslaitoksia on useita. Tunnetuimpia ja suurimpia luokituslaitoksia ovat Bureau Veritas, DNV GL, Lloyd's Register ja Germanischer Lloyd. (Hämäläinen 2011, 23–24)

Luokituslaitoksien sääntöjen yhtenäistämisen avuksi IMO on luonut luokituslaitoksia varten yhtenäisen valtuusmenettely- ja hyväksyntäjärjestelmän. Luokituslaitoksien kattojärjestö IACS rakentaa yhteisiä säännöksiä ja suosituksia yhteistyössä luokituslaitoksien kanssa. Suunnittelun ja laivanrakennuksen periaatteita on käytetty luokituslaitoksen sääntöjen perusteina. Luokituslaitoksien omat säännöt käsittelevät keskenään samoja asioita, joten sääntöjen ja määräyksien välillä ei ole olemassa helpotuksia tai suuria poikkeamia keskenään. (Bjong 2011, 11)

Luokituslaitokset määräävät aluksille luokitusperiodin, jota sen tulee noudattaa. Periodi on jaettu kolmeen osaan: vuosittaiseen tarkastukseen, välitarkastukseen ja telakointitarkastukseen. Vuosittainen tarkastus tehdään nimensä mukaisesti vuosittain, välitarkastus joka kolmas vuosi vuositarkastuksen yhteydessä ja telakointitarkastus joka viides vuosi. Jos luokituslaitos huomaa puutteita aluksessa tai sen määräyksiä ei ole noudatettu, luokituslaitos lopettaa aluksen luokittamisen. Aluksen toiminnan kannalta luokitukset ovat elinehto. (Bjong 2011, 11)

4.2 Liikenteen turvallisuusvirasto Trafi

Liikenteen turvallisuusvirasto Trafi on Liikenne- ja viestintäministeriön alaisuudessa toimiva viranomainen. Trafin lisäksi Liikenne- ja viestintäministeriön alaisuuteen kuuluu myös Liikennevirasto, Ilmatieteen laitos ja Viestintävirasto. Samalla Liikenne- ja viestintäministeriön hallinnonalalla toimivat Finnpiilot ja Finavia Oyj. Trafi on aloittanut toimintansa 2010, kun siihen yhdistettiin ajoneuvohallintakeskus AKE, Ilmailuhallinto, Rautatievirasto ja Merenkulkulaitoksen turvallisuustoiminnot. Trafin syntyhistoriaa selventää kuva 5. (Trafi 2015a)



Kuva 13. Trafin syntyhistoria (Trafi 2015a).

Trafin tehtävänä on kehittää ja parantaa liikennejärjestelmien turvallisuutta, edistää ympäristöystävällistä liikennettä ja vastata liikennejärjestelmien viranomaistoimintaa. Tänä päivänä Trafi työllistää noin 530 työntekijää kymmenessä toimipisteessä. Merenkulun sektorilla Trafi myöntää pätevyyskirjoja ja suorittaa alustarkastuksia ja -katsastuksia. Siten se valvoo, että Suomessa vierailevat alukset noudattavat kansainvälisiä sopimuksia, direktiivejä ja määräyksiä. Trafi tekee yhteistyötä muiden suomalaisten viranomaisten kanssa ja on aktiivinen toimija yhdessä IMO:n kanssa ja EU-tasolla. (Trafi 2015b)

5 LUOKITUSLAITOKSIEN JA TRAFIN VAATIMUKSET PROPULSIOLAITTEILLE

5.1 Propulsiojärjestelmä

5.1.1 Määritelmät ja häiriötilat

Trafi on antanut aluksen koneistoja koskevan ja tarkentavan määräyksen TRAFI/10742/03.04.01.00/2014, joka nojautuu aluksen teknisestä ja turvallista käytöstä annetun lain 1686/2009 15§ 3 momenttiin ja 23 § 1 momenttiin. Määräyksen tavoitteena on täyttää laissa annetut turvallisuusvaatimukset ja varmistaa riittävä aluksien turvallisuustaso. Määräys on tullut voimaan 1.1.2015 ja se korvaa Trafin 20.12.2012 antaman määräyksen TRAFI/9314/03.04.01.00/2012. (TRAFI/101742/03.04.01.00/2014)

DNV GL määrittää säännöstössään tavoitteeksi, että propulsiojärjestelmän ja aluksen ohjaamistoimintojen toiminta on varmistettu kahdentamalla järjestelmät tai vaihtoehtoisesti niiden toiminta on varmistettu siten, että ne palaavat toimintoon yksittäisen häiriön jälkeen. DNV GL:n Reduntant Propulsion on lisäsääntö ja -ohjeistus, joka noudattelee pääkappaleiden ohjeistuksia, eikä sääntöjen välillä ole ristiriitaa. (DNV GL, 2012. 5)

Laivan tulee DNV GL:n luokituksessa rakentaa ja testata, joko niin kutsuttua RP- tai RPS-sääntöjen mukaisiksi. RP-sääntöjen taseisia häiriötiloja ovat yksittäisten komponenttien rikkoutumiset tai toimintahäiriöt. Lisäksi on varauduttava, etteivät häiriöt esimerkiksi muissa aluksen laitteissa vaikuttaisi propulSION toimintaan. Tällaisia laitteita ja koneistoja ovat:

- jäähdyttimet ja lämmönvaihtimet,
- suodattimet,
- motorisoidut venttiilit,
- kattilat,
- muuntajat,
- vaihteistot ja

- kaapelit.

RPS-säännöt poikkeavat RP-säännöistä siten, että RPS-säännöt sisältävät lisäksi vaatimukset häiriötilanteissa, jotka ovat syntyneet tulipalon tai vuodon tuloksena. (DNV GL 2012, 5, 10)

5.1.2 Propulsiojärjestelmän suunnittelulähtökohdat

Propulsiojärjestelmän tulee olla toimintavarma kaikissa olosuhteissa. Sääntö koskee propulsiota, aluksen ohjausta, toimintojen palautumisaikaa ja kestävyyttä. DNV GL:n mukaan RP-säännön aluksen propulsiojärjestelmä on riittävän toimintavarma, kun koko propulsiojärjestelmän tehosta vähintään 50 % palautuu toimintaan häiriön sattuessa. RPS-säännön aluksia taas koskee sama vaatimus, mutta tämän sääntöluokan alusten täytyy olla varautunut häiriöihin, jotka voivat johtua tulipalosta tai vuodosta. RPS-säännöissä propulsiojärjestelmä tulee rakentaa tulipalon kestäväan tilaan ja vesiviivan alapuolissa osastoissa propulsiojärjestelmä tulee sijoittaa vesitiiviiseen osastoon. (DNV GL 2012, 6)

Propulsiojärjestelmän on kyettävä tuottamaan riittävästi kulkutehoa taaksepäin. Alus on kyettävä myös pysäyttämään eteenpäin suuntautuvasta maksimikulkunopeudesta riittävän lyhyellä matkalla. Näin pyritään takaamaan aluksen turvallinen ohjaaminen kaikissa meriolosuhteissa. Aluksen pysähtymiskykyä ja monipotkurisen aluksen yhden potkurilinjan vikaantumisen vaikutuksia alukseen kulkuun on testattava merikokein ja näistä kokeista tulee laatia pöytäkirjat. Nämä pöytäkirjat ja koetulokset tulee Trafin määräyksen mukaan olla aluksen vahtipäällikön käytettävissä. (TRAFI/101742/03.04.01.00/2014)

Trafi määrää, että propulsiojärjestelmä on voitava käynnistää, pysäyttää ja muuttamaan käyntisuuntaa luotettavasti, nopeasti ja turvallisesti niin, ettei se aiheuta vaaraa aluksen työntekijöille. Se on kyettävä pitämään käynnissä normaalisti ja käynnistämään uudelleen, jos jokin järjestelmään kuuluva laite vikaantuu. Häätötilanteessa propulsiojärjestelmän tulee olla pysäytettävissä turvallisesta paikasta, joka sijaitsee konehuoneen ja -valvomon ulkopuolella. (TRAFI/101742/03.04.01.00/2014)

Aluksen ohjaus tulee järjestää siten, että se koostuu kahdesta itsenäisestä ja

toisistaan riippumattomista järjestelmistä. Molempien järjestelmien tulee olla luokituslaitoksen sääntöjen mukainen. Aluksen tulee olla täysin ohjaitavissa molemmilla ohjausjärjestelmillä. Uusimman säännön mukaan aluksen ohjailujärjestelmien tulee myös palautua toimintakykyiseksi häiriön sattuessa. (DNV GL 2012, 9–10)

Propulsiojärjestelmälle ei ole määrätty tiettyä aikarajaa, minkä kuluessa sen tulee palautua kokonaan toimintakykyiseksi tai vähintään 50 % koko propulsiotehosta tulee palautua. DNV GL toteaa säännöissään, että poikkeusjärjestelyt ja varajärjestelmät ovat sallittuja kunnes varsinainen propulsiojärjestelmä on häiriön jälkeen saatu palautettua toimintakykyiseksi. (DNV GL 2012, 10)

DNV GL määrää, että propulsiojärjestelmän tulee tuottaa propulsiolle käytettävää tehoa yhtäjaksoisesti vähintään 72 tunniksi. Se on antanut helpotuksen sääntöihin erikoisaluksille, joiden merimatka kestää alle 72 tuntia. Näiden aluksien propulsiojärjestelmän tulee yhtäjaksoisesti tuottaa propulsiotehoa vähintään koko merimatkan keston mittaisen ajan, mutta kuitenkin yli 12 tuntia. (DNV GL 2012, 10)

5.1.3 Propulsiojärjestelmän rakenne

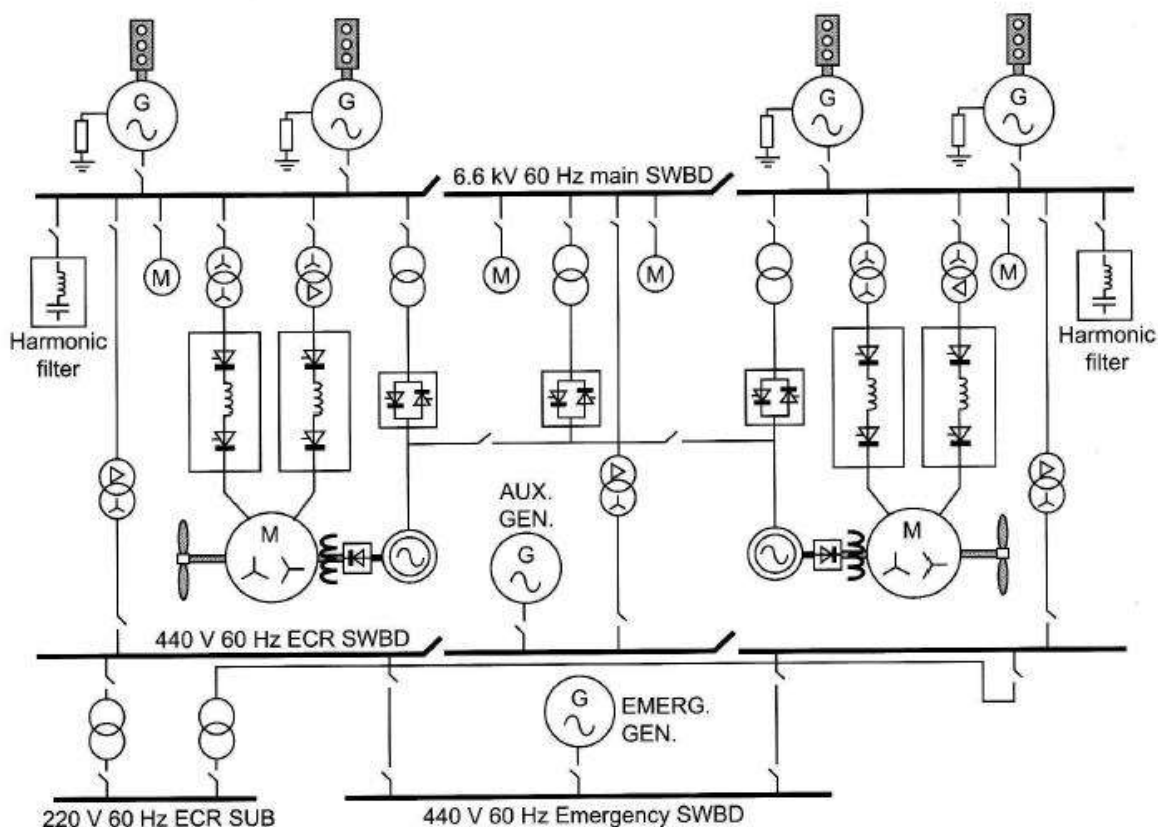
Propulsiojärjestelmän toiminta häiriötilanteessa tulee olla varmennettu. DNV GL määrää täten, että varsinaisen pääpropulsiojärjestelmän lisäksi tulee olla pääpropulsiojärjestelmästä riippumaton varajärjestelmä. Käytännössä tämä voidaan varmistaa esimerkiksi vetämällä alukseen toinen akselilinjaus tai vaihtoehtoisesti kahdella säätösiipipotkurilla. Kaksi itsenäistä moottoriyksikköä yhtä potkuria kohden ei ole riittävä varmistus propulsiojärjestelmälle. (DNV GL 2012, 10–11)

Ohjaus tulee olla varmistettu vähintään kahdella itsenäisellä toisistaan riippumattomalla menetelmällä. Käytännössä DNV GL:lle riittää, että aluksella on esimerkiksi kaksi peräsintä tai kaksi ruoripotkuria. (DNV GL 2012, 11)

5.1.4 Sähkön tuotto ja jakelu

Propulsiolle, ohjaukselle ja näiden apukoneistoille tuotava sähköteho on tuotettava sellaisilla laitteilla, jotka täyttävät luokituslaitoksen säännöt toimintavarmuudeltaan ja tehokapasiteetiltaan. Aluksen pitää pystyä operoimaan hätätaulun varassa, jos päätaulun kautta ei saada sähköä propulsiolle. (DNV GL 2012, 11)

Jos propulsiolle tuotava sähkö tuodaan ainoastaan yhden päätaulun kautta, tulee päätaulun olla eroteltavissa kahteen osaan kytkimillä. Kytkimien tulee olla riittävän tehokkaat, jotta ne pystyvät erottamaan päätaulun osat toisistaan maksimitehonkin aikana. Päätaulun molemmilla puolilla on oltava riittävä tehokapasiteetti, että propulsiolaitteistot pystyvät toimimaan pelkästään yhdenkin päätaulun puolen varassa. Vaihtoehtoisesti propulsiojärjestelmän sähkönsyötön redundanttisuus voidaan varmistaa kahdelle eri päätaululla. DNV GL:n RPS-säännön aluksien sähköpäätaulujen sijainti ja suojaus on huomioitava siten, että ne ovat tulipalon kestäviä ja ne ovat vesitiiviissä osastoissa. Tyypillinen laivan sähkökaavio on esitelty kuvassa 6. (DNV GL 2012, 11)



Kuva 14. Tyypillinen laivan sähköverkko (Hall 2011, 2).

Sähkönjakelun kaapeloinnin tulee mitoittaa siten, että ne kestävät molempien päätaulukien puolien olon verkkoon kytkettynä tai ainoastaan toinen puoli on kytketty verkkoon. Sama sääntö koskee myös kytkimiä. (DNV GL 2012, 11)

5.1.5 PMS

Sähkötehon ohjausyksikkö PMS tulee toimia ajettaessa molemmilla sähköpäätaulukien puolilla tai ainoastaan toisella. Propulsiojärjestelmän tarvittavan sähköntuoton varmistamiseksi PMS:n on kyettävä käynnistämään tarvittaessa lisägeneraattoreita, sulkemaan ja eristämään ylimääräisiä turhia kuluttajia sähköverkosta ja sammuttamaan ylimääräisiä generaattoreita. (DNV GL 2012, 12)

PMS:ssä sattuva häiriö tai vika ei saa aiheuttaa äkillisiä muutoksia tai häiriöitä generaattorien sähköntuotantoon. Lisäksi häiriöstä on tultava vikahälytys komentosillalle. Päätaulukien tulee olla ohjattavissa manuaalisesti PMS:n vikaantumisesta huolimatta. Ylikuorma, joka on aiheutunut yhden tai useamman generaattorin pysäyttämisestä, ei saisi aiheuttaa black-outia alukselle. (DNV GL 2012, 12)

5.1.6 Apu- ja tukivarajärjestelmät

Propulsiojärjestelmän tukilaitteet ja -koneistot täytyy asentaa siten, että yksittäisen yksikön irrottaminen järjestelmästä huollon vuoksi ei estä propulsiojärjestelmää toimimasta suunnitellusti. Tällaisia laitteita ovat esimerkiksi erilaiset pumpput, tuulettimet ja sähkömoottorit. Käytännössä edellä mainitut laitteet ovat järjestelmässä kahdennettu, jolloin laite voidaan irrottaa järjestelmästä pois huollon ajaksi toisen käydessä samaan aikaan. Yleissäännöksi DNV GL määrää, että apukoneistot tulee varmentaa siten, että yksittäisen laitteen hajoaminen tai vikaantuminen ei heikentäisi propulsiotehoa. (DNV GL 2012, 12)

Jokaisella propulsiolaitteella tulee DNV:n mukaan olla oma voiteluöljykierto. Voiteluöljyjärjestelmän tulee täyttää edellisessä kappaleessa mainitut kriteerit, mahdollistaen näen huollon. RPS-säännön osalta täytyy lisäksi ottaa huomioon palosuojaus ja vuodon mahdollisuus. (DNV GL 2012, 13)

5.2 Propulsion, aluksen ohjauksen ja apukoneistojen ohjaus

Propulsion tuoton, aluksen ohjauksen ja niiden apukoneistojen toiminta tulee varmistaa varajärjestelmällä. Käytännössä ne varustetaan varsinaisella ohjailuysiköllä ja varaohjauksella. Aluksen ohjaus ja propulsion suunnan muutokset hoidetaan pääsääntöisesti laivan komentosillalta. Hätäohjauspiste on taas yleensä konehuoneessa lähellä kyseistä laitteistoa. Varsinaisen ohjailupisteen ja hätäjärjestelmän välillä tulee olla kaikissa tilanteissa toimiva ja sähköstä riippumaton kommunikointiväline. (DNV GL 2012, 14)

Komentosillan pääohjauspisteestä tulee olla ohjailu jokaiselle propulsiojärjestelmän laitteelle (propulsio ja ohjailu) itsenäinen ja toisistaan riippumaton ohjauslinja. Tällöin yksittäisen laitteiston vika järjestelmässä ei kaataisi koko propulsiojärjestelmän ohjausta. Kaikissa propulsiojärjestelmissä tulisi varmistua, että paikallisohjaus toimii kaikissa varsinaisen ohjausjärjestelmän häiriötilanteista huolimatta. Molemmat ohjauspisteet tulee varustaa indikaattoreilla, joilla osoitetaan aluksen suunta, akselien kierrosnopeus ja tapauskohtaisesti potkurin lapojen asento. Nämä indikaattorit tulevat olla keskenään kalibroitu, jotta ne näyttäisivät samaa lukemaa molempiin ohjauspisteisiin. (DNV GL 2012, 14)

Jos komentosillan ohjailuysikön sähkötehon saanti on UPS-järjestelmällä varmennettu, tulee sen lisäksi olla kytkettynä varajärjestelmää, jonka virtalähteenä toimivat akut. Akkujen tuottama virransyötön tulee minimissään kestää 30 minuuttia. (DNV GL 2012, 14)

Säätösiipipotkurin lapojen ohjailuysikkö tulee olla myös manuaalisesti ohjailtavissa. Lapojen asentojen ohjailuysikön hajotessa lapojen asentoa voitaisiin vaihtaa manuaalisesti siten, että säätösiipipotkuria voitaisiin ajaa kiinteälapaisen potkurin tavoin. Tässä tapauksessa potkurin pyörimissuuntaa vaihdetaan potkuriakselin pyörimissuuntaa vaihtamalla. (DNV GL 2012, 14)

5.3 Potkurit ja säätösiipipotkurit

DNV GL määrää, että potkurit on valmistettava riittävän kestävästä ja lujasta materiaalista. Materiaalien tulee olla linjassa luokituslaitoksen muiden sääntöjen kanssa ilman ristiriitaisuuksia. Yhdistelmäateriaaleista valmistettavissa

potkureissa (komposiitit) tulee ottaa huomioon sähkökemiallisen korroosion vaikutukset potkurimateriaaleissa. Potkurin tulee olla valmistettu ja asennettu siten, että se kestää pyörimisliikkeen ja sen muutoksien aiheuttamat dynaamiset rasitukset. Dynaamisissa rasituksissa on otettava huomioon, erityisesti pyörimisliikkeen liikkeellelähtö ja pysäyttäminen, nopeuden muutokset, manöveerausolosuhteet sekä jääskujen aiheuttamat rasitukset. Potkurin lapojen ja niiden kiinnitykset tulee kestää nämä samat rasituslajit, kuten itse potkurin navan. (DNV GL 2013, 8–11)

Säätösiipipotkurin servomoottorin on noudatettava ja täytettävä luokituslaitoksen säännöt, jotka koskevat aluksen hydraulisia laitteistoja ja koneistoja. Sääntöjen pääkohtana voidaan pitää, että servomoottorista on löydyttävä vara-järjestelmä tai -koneisto, jolla servomoottoria voidaan ohjata varsinaisen käyttöjärjestelmän vikaantuessa. Varajärjestelmän tulee olla rippumaton varsinaisesta pääkäyttötavasta. (DNV GL 2013, 8–11)

5.4 Podit ja azimuth-thrusterit

Podien ja azimuth-thrusterien rakenne tulee olla kestävä ja riittävän luja, jotta se kestää samat rasituslajit kuin edellä mainitut. Rakenteen tulee myös kestää podin sisäisten ja ulkoisten voimien aiheuttamat rasitukset. Rakenteessa on otettava huomioon, että podia ja thrusteria on helppo tarkastaa ja huoltaa ilman, että rakenne aiheuttaa vaara muille laitteistoille tai henkilöstölle. Käytännössä tämä on toteutettu niin, että esimerkiksi osassa ABB:n Azipodeissa on huoltotunneli, jota pitkin Azipodin sisään pääsee tekemään huoltotöitä. Podi tulee tiivistää riittävän tehokkaasti luokituslaitoksen hyväksymillä tiivisteillä, jotta meriveden pääsy podin sisään ja vesiherkille rakenteille ja laitteistoille kyetään estämään. (ABB 2015a; DNV GL 2013, 22–24)

Alus tulee varustaa vähintään kahdella ohjailulaitteella. Jos aluksella on ainoastaan yksi podi, sen ohjailulaite tulee varmistaa varaohjailulaitteella, joka on rippumaton podin varsinaisesta pääohjailulaitteesta. Ohjailulaitteen tulee olla riittävän kestävä ja luja, jotta se kestää siihen kohdistuvat rasitukset ja se pysyy kääntämään podia halutulla tavalla. Podin ja thrusterin äkillinen kääntäminen on oltava estettävissä, jos alukselle tulee black-out, ohjailuysikkö vikaantuu tai ohjailulaitteeseen tulee laakerivika. Podin ja thrusterin kääntäminen on

oltava lukittavissa, jotta sitä voidaan käyttää tarvittaessa ainoastaan propulSION tuottamiseen. (DNV GL 2013, 22–24)

Podin ja thrusterin vedenalaiset osat tulee olla materiaaliltaan riittävän lujia ja kestäviä, jotta ne kestävät hydrodynaamisia rasituksia, kiihdytyksiä ja rasituksen muutoksia. Itse potkuri tulee täyttää samat vaatimukset, jotka luokituslaitos on asettanut kiinteälapaisista potkureista ja säätösiipipotkureista. (DNV GL 2013, 27)

Voiteluöljy, joka kiertää podissa ja thrusterissa, tulee täyttää voiteluöljylle luokan asettamat vaatimukset. Voiteluöljyn tulee voidella liikkuvia osia ja täten vähentää kitkan aiheuttamia haittavaikutuksia osille. Sen tulee myös jäähdyttää liikkuvia osia. Tarvittaessa voiteluöljylle on järjestettävä jäähdytys, jotta se pystyy kuljettamaan lämpöä pois voideltavilta osilta. Voiteluöljyjärjestelmän pumpput on kahdennettava siten, että varapumpput kierrättävät voiteluöljyä, jos pääpumpput vikaantuvat. (DNV GL 2013, 27)

5.5 Aluksen ohjaus

Aluksella on oltava riittävän tehokas pää- ja varaohjausjärjestelmä. Ne tulee olla suunniteltu ja asennettu siten, että toisen järjestelmän vikaantuessa toisella järjestelmällä voidaan operoida alusta turvallisesti. (TRAFI/101742/03.04.01.00/2014)

Pääohjausjärjestelmän ja -laitteen sekä peräsintukin tulevat olla rakenteeltaan riittävän lujia, jotta ne kestävät staattisia, dynaamisia ja hydrodynaamisia rasituksia. Pääohjausjärjestelmän tulee kyetä kääntämään aluksen peräsintä 35 asteen toispuoleisesta peräsinkulmasta 35 asteen vastakkaispuoleiseen peräsinkulmaan, kun alus kulkee eteenpäin sen maksiminopeudella maksimisyvyydessä. Samoissa kulkuolosuhteissa sen on myös kyettävä kääntämään peräsintä 35 asteen toispuoleisesta peräsinkulmasta vastakkaispuolen 30 asteen peräsinkulmaan enintään 28 sekunnissa. (TRAFI/101742/03.04.01.00/2014)

Varaohjausjärjestelmän tulee olla rakenteeltaan riittävän luja ja kestävä, jotta sillä itsestään pystytään tarvittaessa ohjaamaan alusta. Sen tulee kyetä kääntämään peräsintä 15 asteen peräsinkulmasta vastakkaispuoleiseen 15 asteen

peräsinkulmaan enintään 60 sekunnissa. Tällöin kulkunopeuden tulee olla puolet aluksen maksimikulkunopeudesta, mutta kuitenkin vähintään 7 solmua aluksen uidessa maksimisyvyydessään. (TRAFI/101742/03.04.01.00/2014)

Jos pääohjausjärjestelmällä on kaksi tai useampi samanlainen voimanlähde, ei tarvita erillistä varajärjestelmää. Tämän edellytyksenä on, että pääohjausjärjestelmä täyttää varaohjausjärjestelmälle annetut vaatimukset minkä tahansa voimanlähteen vikaantuessa. Tällöin pääohjausjärjestelmä tulee olla suunniteltu ja asennettu siten, että yksittäisen järjestelmän komponentin tai putkiston vika voidaan eristää ja alus on operoitavissa tai aluksen operointi on nopeasti palautettavissa. Sähköiset ja sähköhydrauliset ohjauslaitteet tulee olla varusteltu indikaattorein, jotka näyttävät pää- ja varaohjauspaikoille ohjauslaitteen käynnissä olon ja peräsimen peräsinkulman.

(TRAFI/101742/03.04.01.00/2014)

5.6 Kommunikointivälineet

Aluksella tulee olla vähintään kaksi toisistaan riippumatonta yhteydenpitovälinettä komentosillan ja konevalvomon (tai muun vastaavan koneistojen säätöpaikan, josta säädetään potkurien suuntaa ja nopeutta) välillä. Kaikki aluksen paikat, josta säädetään potkurien pyörimissuuntaa ja -nopeutta tulee olla varusteltu asianmukaisin yhteydenpitovälinein. Pää- ja varaohjausjärjestelmän ohjauslaitteilla tulee varustaa kaksisuuntaisella kommunikointilaitteistolla, jolla saadaan yhteys komentosillalle. Tämän laitteiston tulee olla riippumaton aluksen pääsähköverkosta. (TRAFI/101742/03.04.01.00/2014)

5.7 Automatisointia ja E0-konehuoneita koskevia säädöksiä

Kuljetuskoneisto tulee varustaa järjestelmällä, joka antaa ääni- ja valohälytyksen, kun kuljetuskoneiston sähkönsyöttöön tulee häiriö. Dieselkäyttöisellä kuljetuskoneistossa järjestelmän tulee:

- antaa voiteluöljyn alarajahälytys (ääni- ja valohälytys)
- antaa jäähdytysjärjestelmän lämpötilan ylärajahälytys (ääni- ja valohälytys)

- pysäyttää kuljetuskoneisto automaattisesti jäähdytysjärjestelmän ylikuumentuessa
- pysäyttämään kuljetuskoneisto automaattisesti kriittisillä kierrosluvuilla ajon pitkittyessä. (TRAFI/101742/03.04.01.00/2014)

Kuljetuskoneiston kauko-ohjauslaitteen tulee varustaa järjestelmällä, joka antaa hälytyksen kytkimien ja pääkoneen liian vähäisestä öljyn- tai ilmanpaineesta. Sen tulee antaa myös hälytys, jos pääkoneen kauko-ohjauksen sähkönsyöttöön ilmaantuu häiriö tai vika. (TRAFI/101742/03.04.01.00/2014)

Säätösiipipotkurin tai ruoripotkurin hydraulikkajärjestelmän tulee antaa hälytys liian alhaisesta hydraulikkaöljyn määrästä. Sen pitää antaa hälytys, jos kauko-ohjauspaikan tai hydraulisen käyttölaitteen välisen ohjausjärjestelmän välisessä sähkönsyötössä tulee vika tai häiriö. (TRAFI/101742/03.04.01.00/2014)

5.8 Rakenteellisia vaatimuksia

5.8.1 Potkuriakselit

Taotuille potkuriakseleille on annettu materiaalkohtaisia rakenteellisia vaatimuksia. Jos potkuakseli valmistetaan hiili- tai hiili-mangaaniteräksestä, sen murtolujuus tulee minimissään olla 400 – 760 N/mm². Seosteräksille vastavan arvon ei tarvitse olla suurempi kuin 800 N/mm². Seosteräksien suhteen on otettava huomioon, että niiden kemiallinen koostumus, lämpökäsittely ja mekaaniset ominaisuudet on hyväksyttävä erikseen. Potkuriakselin materiaalisia vaatimuksia voidaan tarkastaa ultraäänitarkastuksella, kun potkuriakselin halkaisija on yhtä suuri tai enemmän kuin 250 mm. (Lloyd's Register 2009a)

Potkuriakselin minimihalkaisija d (mm) lasketaan seuraavalla kaavalla:

$$d = Fk \sqrt[3]{\frac{P}{R} \left(\frac{560}{\sigma_u + 160} \right)} \quad (1.)$$

, jossa F on 95 tai 100 riippuen siitä, mikä propulsiojärjestelmä aluksessa on. Turbiiniasennuksissa, sähköisissä propulsiojärjestelmissä $F = 95$. Myös mekaanisissa propulsiojärjestelmissä $F = 95$, jos ne on varusteltu tiettytyyppisillä

kytkimillä. Muilla tapauksissa F on 100. Kerroin k riippuu kytkinvaihtoehdoista ja sen arvo on 1,0 – 1,20 välillä. (Lloyd's Register 2009a)

Jos potkuriakseli on ontto, sen minimihalkaisija (ulkoreunasta ulkoreunaan) määritellään seuraavalla kaavalla:

$$d = 101 \sqrt[3]{\frac{P400}{R\sigma_u}}. \quad (2.)$$

(Lloyd's Register 2009a)

5.8.2 Potkuri ja potkurin lavat

Potkurin ja potkurinlapojen valaminen täytyy noudattaa luokituslaitoksen vaatimuksia rakenteellisen lujuusominaisuuksien suhteen. Materiaalikohtaiset lujuusvaatimukset on koottu taulukkoon 1. (Lloyd's Register 2009b)

Taulukko 1. Lujuusvaatimukset potkureille (Lloyd's Register 2009b).

Valmistusmateriaali	Tiheys g/cm ³	Minimimurtolujuus N/mm ²	Sallittu rasitus N/mm ²
Harmaa valurauta	7,2	250	17,2
Pallografiitti valurauta	7,3	400	20,6
Hiiliteräs	7,9	400	20,6
Niukkaseoksinen seosteräs	7,9	440	20,6
Mangaanipronssi (vetorasitusta kestävä messinki)	8,3	440	39
Nikkelimangaanimessinki (vetorasitusta kestävä messinki)	8,3	440	39
Nikkelialumiinipronssi	7,6	590	56
Mangaanialumiinipronssi	7,5	630	46
Ruostumattomat teräkset:			
13 % kromipitoinen	7,7	540	41
Krominikkelipitoinen austeniittinen	7,9	450	41
Duplex	7,8	590	41

5.8.3 Podit ja azimuth-trusterit

Materiaalit, joita käytetään podien rakenteissa, on oltava luokituslaitoksen hyväksymät. Podin rakenteet voidaan takoa, valaa tai koota elementeistä tai käyttää menetelmien yhdistelmiä. (Lloyd's Register 2009c)

Podin kiinnitteissä käytettävissä materiaaleissa on huomioitava meriveden vaikutus. Jos kiinnityksissä käytettävällä materiaalilla on mahdollisuus joutua meriveden kanssa kontaktiin, kiinnitteet eivät saa olla valmistettu niukkaseoksista ja hiilimangaaliteräksistä, joiden murtolujuus on suurempi kuin 950

N/mm². Riskinä voi olla vetyhaurastuminen, joka on eräänlainen jännityskorroosion olomuoto. (Lloyd's Register 2009c)

6 LUOKITUS JA TARKASTUS

6.1 Ennen tarkastusta

Ennen aluksen propulsiolaitteiden tarkastusta ja luokittamista luokituslaitos ja aluksen omistaja sopivat tarkastuksen käytännön järjestelyistä. Osapuolten välillä sovitaan tarkastettavat kohteet, tarkastusmenetelmät ja järjestelyt, jotta tarkastus suoriutuisi mahdollisimman vaivattomasti ja turvallisesti. (Lloyd's Register 2009d)

Aluksen omistajan ja luokituslaitoksen välillä sovitaan luokitusmenetelmät. Käytännössä luokituslaitos kertoo, mitkä kohteet se tulee tarkistamaan ja miten. Aluksen miehistön tulee vastata alkuvalmisteluista ennen tarkastusta. Tarkastettavilla kohteilla on järjestettävä helppo ja turvallinen pääsy. Tarkastuskohde on myös valmistettava tarkastukselle etukäteen. Esimerkiksi jos tarkastuskohteelle tehdään paksuusmittaus, kohde tulee olla puhdistettu ja valmisteltu etukäteen ennen tarkastusta. Tarkastuskohteille tulee järjestää myös riittävän tehokas valaistus. (Lloyd's Register 2009d)

Edellä mainittujen esimerkkien lisäksi aluksen miehistölle kuuluu kaikki muut ennakkovalmistelut, jotka vaaditaan ja koetaan tarpeelliseksi ennen luokittamista. Ennakkovalmisteluiden ja osapuolten yhteisen sopimisen tavoitteena on saada tarkastus ja luokitus suoritettua mahdollisimman joutuisasti. (Lloyd's Register 2009d)

6.2 Tarkastettavat kohteet

6.2.1 Potkuriakselit

Potkuriakselit tulee vetää ulos tietyn määräajoin välein, joka on joko viisi vuotta tai 10 vuotta riippuen potkuriakselin voitelutavasta. Vaseliinilla voideltujen potkuriakselien ulosvetämisväli on viisi vuotta ja voiteluöljyllä voideltujen potkuriakselin kymmenen vuotta. Yli kolmekymmentä vuotta vanhojen alusten

voiteluöljyllä voideltavat potkuriakselit vedetään viiden vuoden välein. Konete-
holtaan alle 375 kW aluksien potkuriakselit vedetään ainoastaan tarvittaessa.
Potkuriakselin vetämisväliä voidaan pidentää viiteentoista vuoteen, jos potku-
riakselin akselitiivisteet eivät vuoda, laakerien lämpötiloja seurataan säännölli-
sesti ja hylsyöljyn koostumusta analysoidaan vähintään kaksi kertaa vuo-
dessa. (TRAFI/9321/03.04.01.00/2013)

Voiteluöljyä, jota käytetään potkuriakselin yhteydessä, tulee testata öljyanalyy-
sein. Analyysien tulokset tulee olla dokumentoituina. Voiteluöljyanalyysi on
esitelty tarkemmin kohdassa 6.3.2. (Lloyd's Register 2009a)

Potkuriakselin laakeripintojen tarkastamiseen tulee kiinnittää huomiota. Niin
kutsutut potkurimutterit eli potkuriakselien päässä olevat kiertet tulee tarkis-
taa myös huolellisesti. Myös kiilauran (kartion suurempi pää) tarkistamiseen
tulee paneutua huolellisesti. Tarkastettavien kohteiden pinnoille on tarvitta-
essa tehtävä särötutkimus, jotta mahdolliset vauriot voidaan havaita. Tarkas-
tamisessa voidaan käyttää hyväksi myös magneettijauhetarkastusta.
(TRAFI/9321/03.04.01.00/2013; Lloyd's Register 2009a)

Potkuriakselin laakerit tulee tarkistaa. Laakerit on vaihdettava uusiin jos vällys
on liian iso tai laakeri on kulunut niin, että laakerimetallia on irronnut. Sallitut
vällykset on esitetty seuraavissa taulukoissa:

- valkometallilaakeri, taulukko 2
- vesivoideltu kumilaakeri, taulukko 3
- Pokkenholtz-laakeri, taulukko 4
- vesivoideltu muovilaakeri, taulukko 5. (TRAFI/9321/03.04.01.00/2013)

Taulukko 2. Valkometallilaakerien sallitut välykset
(TRAFI/9321/03.04.01.00/2013).

Valkometallipotkurihylsälaakerin sallitut välykset, öljyvoitelu		
Akselin halkaisija [mm]	Minimivälys [mm]	Välys, jolloin laakeri on uusittava [mm]
100	0,4	1,20
200	0,5	1,35
300	0,6	1,50
400	0,7	1,65
500	0,8	1,80
600	0,9	1,95
700	1,0	2,10
800	1,1	2,25

Lignum-valkometallipotkurihylsälaakerin sallitut välykset, vaseliini-/vesivoitelu		
Akselin halkaisija [mm]	Minimivälys [mm]	Välys, jolloin laakeri on uusittava [mm]
100	0,60	1,10
200	0,71	2,20
300	0,83	3,45
400	0,94	4,45
500	1,06	5,25
600	1,17	5,95

Valkometalli/valurautapotkurihylsälaakerin sallitut välykset, vaseliinivoitelu		
Akselin halkaisija [mm]	Minimivälys [mm]	Välys, jolloin laakeri on uusittava [mm]
50	0,45	1,00
100	0,55	1,30
150	0,65	1,65
200	0,75	2,00
250	0,85	2,35
300	0,95	2,70
350	1,05	3,05
400	1,15	3,40

Taulukko 3. Vesivoidellun kumilaakerin sallitut välykset
(TRAFI/9321/03.04.01.00/2013).

Vesivoidellun kumipotkurihysälaakerin sallitut välykset		
Akselin halkaisija [mm]	Minimivällys [mm]	Vällys, jolloin laakeri on uusittava [mm]
50	0,20	1,25
100	0,38	1,80
150	0,56	2,35
200	0,74	2,90
250	0,92	3,45
300	1,10	4,00

Taulukko 4. Pokkenholtz-laakerien sallitut välykset
(TRAFI/9321/03.04.01.00/2013).

Pokkenholtz-potkurihysälaakerin sallitut välykset		
Akselin halkaisija [mm]	Minimivällys [mm]	Vällys, jolloin laakeri on uusittava [mm]
25	0,25	2,0
50	0,40	2,5
75	0,50	2,8
100	0,55	3,0
125	0,60	3,3
150	0,65	3,5
200	0,75	4,1
250	1,00	4,7
300	1,20	5,5
400	1,35	5,9
500	1,60	7,0

Taulukko 5. Vesivoidellun kumilaakerin sallitut välykset
(TRAFI/9321/03.04.01.00/2013).

Vesivoidellun muovisen potkurihysälaakerin sallitut välykset		
Akselin halkaisija [mm]	Minimivällys [mm]	Vällys, jolloin laakeri on uusittava [mm]
50	0,25	2,75
100	0,35	3,25
150 / 151	0,50 / 0,70	4,00
200	0,80	4,75
250	0,95	5,50
300	1,05	6,00
350	1,15	6,75
400	1,25	7,50
450	1,40	8,00
500	1,55	8,75
550	1,75	9,40

Öljyvoideltujen potkuriakselien akselitiivisteet tulee tarkastaa. Tarvittaessa tiivisteet on vaihdettava uusiin tai korjattava käyttökelpoisiksi.

(TRAFI/9321/03.04.01.00/2013)

6.2.2 Potkuri ja säätösiipipotkuri

Potkurin lavat tulee olla kiinnitetty luokituslaitoksen hyväksymällä tavalla. Potkurin lapojen kiinnitys ja asennus tulee suorittaa luokituslaitoksen valvojan valvonnan alaisena. Kiinnityspulttien kunto tulee tarkastaa, jotta ne täyttävät luokituslaitoksen vaatimukset. Säätösiipipotkurin lapojen kiinnitysten tiivisteet tulee tarkistaa huolellisesti. Tarvittaessa tiivistys tulee vaihtaa ja uusia, jotta meriveden pääsy säätösiipipotkurin sisäpuolelle estetään. (DNV GL 2013, 14)

Säätösiipipotkurin servomoottori tulee läpihuuhdella kokoonpanon jälkeen. Servomoottorin koneisto testataan kuormittamalla järjestelmää 1,5-kertaisella paineella normaaliarvoihin verrattaessa. (DNV GL 2013, 14; TRAFI/9321/03.04.01.00/2013)

Säätösiipipotkurin toimintaa ja sen nousun ohjausta voidaan testata meriajokokeessa. Nousun ohjaus ja servomoottorin tuottama ohjauspaine tulee täyttää luokan vaatimukset ja niiden toiminta tulee olla asianmukaista. Tämä täyttyä osoittaa luokituslaitoksen tarkastajalle. Sama koskee myös säätösiipipotkurin varaohjauspaikkaa. Varaohjauspaikan ja varsinaisen pääohjauspaikan potkurin nousua tai lapakulmaa osoittava indikaattorit tulee olla kalibroitu siten, että ne näyttävät samaa lukemaa. Säätösiipipotkurin hydrauliseen ohjausjärjestelmään kuuluvien varoventtiilien toiminta tulee testata venttiilien valmistajien ohjeiden ja suositusten mukaisesti. (DNV GL 2013, 14)

Potkurin käyttäytymistä on testattava meriajokokeen aikana. Kiinteälapaista potkuria pyöritetään täysillä kierrosluvuilla molempiin suuntiin. Säätösiipipotkurin testauksessa riittää, että potkuriakselia pyöritetään täysillä kierrosluvuilla ja lapakulmia muutetaan ääripäästä toiseen. (DNV GL 2013, 15)

6.2.3 Podit

Podimaisissa propulsioratkaisuissa tarkastetaan niin sanottu propulsiomoottori, että se vastaa luokan vaatimuksia. Propulsiomoottori on podin sisällä sijaitseva moottori, joka pyörittää podin potkuria. Käytännössä propulsiomoottori sisältyy Azipodien kaltaisten podien tarkastuskohteisiin, koska Aquamasterissa potkuria pyörittävä voima siirretään mekaanisesti akselivälityksillä potkurille konehuoneen koneista. (Lloyd's Register 2009a)

Podien kohdalla tarkastetaan myös generaattorit, jotka tuottavat podien käytämän sähkövirran. Generaattorien tarkastamiseen on omat ohjeistuksensa. Myös kaapelit, generaattorien ja podin välissä, tulee tarkastaa. Kaapelien kunnosta tarkastetaan etteivät ne ole vaurioituneet. Lisäksi niistä tarkastetaan, että ne ovat tarkoituksenmukaiset ja luokituslaitoksen sääntöjen mukaiset. Samalla tarkastetaan eristeiden kunto resistanssimittauksella. (Lloyd's Register 2009a)

Podin ulkokuori ja sen tiiveys tulee tarkastaa. Käytännössä tämä voidaan tarkistaa visuaalisesti, ettei podissa ole selviä ulkoisia merkkejä vaurioista. Tarvittaessa voidaan käyttää muita NDT-menetelmiä tiiveyden varmistamiseksi. Podin tiiveys on tarkastettava, jotta merivesi ei pääse aiheuttamaan vahinkoa podin sisäpuolisiin laitteistoihin. Jos podissa on erillinen jäähdytysjärjestelmä, sen toiminta tulee tarkastaa ja dokumentoida jäähdytyslaitteistojen tarkastamiseen annettujen luokitusohjeiden mukaisesti. (Lloyd's Register 2009a)

Merikoe suoritetaan podille luokituslaitoksen tarkastajan valvonnassa ja kaikki tulokset dokumentoidaan. Merikokeessa podille suoritetaan normaalit manöveeraustoimenpiteet normaaleissa olosuhteissa. Kokeen aikana testataan myös tarvittavien dieselgeneraattorien käynnistykset ja sammutukset kuorman vaihtuessa. Merikokeessa podin asentoa muutetaan ääriasennosta toiseen. (Lloyd's Register 2009c)

Podin merikokeeseen kuuluu myös maksimikiihdytys levosta aluksen maksiminopeuteen. Yhtälailla myös aluksen pysäytyskoe suoritetaan merikokeessa. Pysäytyskokeessa aluksella ajetaan vakionopeudella, joka on vähintään 90 % siitä nopeudesta, joka tuotetaan 85 % propulsiotehosta. Aluksen kuuluu pysähtyä 15 laivan mitan vastaavan matkan sisällä. (Lloyd's Register 2009c)

6.2.4 Peräsin

Peräsimeen kohdistuu erilaisia voimia ja rasituksia. Varsinkin kovina jäätälvinä peräsin joutuu tavallista kovemman rasituksen alaiseksi. Tämän vuoksikin peräsimen rakenteesta tulee tarkistaa silmämääräisesti, että sen rakenteessa ei ole merkittäviä muodonmuutoksia tai vääntymiä. Mahdolliset korroosiovauriot tulee tarkastaa huolellisesti, jotta tiedetään, kuinka pitkälle korroosio on edennyt ja miten se vaikuttaa peräsimen kuntoon. Myös mahdolliset halkeamat tai raot peräsimen rakenteessa tulee tarkastaa esimerkiksi NDT-menetelmiä käyttäen. (Kortesmäki 2014, 43)

Peräsinakselit ja siihen kuuluvat laakerit tarkastetaan, kuten potkuriakselit ja niiden laakerit. Laakerien välykset mitataan ja ne tarkastetaan kulumisen varalta. (Kortesmäki 2014, 43)

Peräsimen mahdolliset saranatapid tulee myös tarkistaa, jotta voidaan varmistua niiden kunnosta. Saranatapeista mitataan välykset ja tarkastetaan, ettei niissä ole esimerkiksi halkeamia tai muita vaurioita. Peräsimen painelaakeri tarkistetaan myös. Siitä mitataan samalla tavalla välykset ja tarkistetaan vaurioilta. (Kortesmäki 2014, 43)

Peräsimelle voidaan tehdä paineistus, jolla voidaan selvittää peräsimen tiiveys. Jos peräsin ei ole riittävän tiivis, se saattaa ajan myötä täyttyä vedellä. Tämä altistaa peräsimen rakenteet korroosiolle. Samalla ylimääräinen paino peräsimessä altistaa peräsimen kiinnitykset ja laakerit ylimääräiselle rasitukselle. (Kortesmäki 2014, 43)

6.3 Tarkastusmenetelmät ja -tavat

6.3.1 Potkuriakselin vetäminen

Potkuriakselin tarkastaminen jaetaan kolmeen tarkastustyyppiin, jotka ovat normaali, mukautettu ja osittainen tarkastus. Normaalissa tarkastuksessa potkuriakseli vedetään kokonaan ulos, jonka jälkeen potkuriakseli tutkitaan, näkyykö siinä kulumista tai muita vaurioita. Normaalitarkastus suoritetaan 2,5 vuoden välein, mutta tästä aikavälistä voidaan poiketa. (Kortesmäki 2014, 41)

Mukautetussa tarkastuksessa potkuriakselia ei vedetä kokonaan ulos. Se vedetään sen verran, että takimmainen ja etummainen laakeri tulee tarkastettua. Riippuen aluksesta potkuri on irrotettava, jotta potkuriakselia voidaan vetää riittävästi. Jossain olosuhteissa mukautetulla tarkastuksella voidaan korvata normaalitarkastus. (Kortesmäki 2014, 41)

Osittaisessa potkuriakselin tarkastuksessa potkuriakselia ei vedetä ollenkaan. Tässä tarkastustyyppissä tyydytään ainoastaan visuaaliseen tarkastamiseen, mahdollisiin öljyanalyyysien tekemiseen ja vertaamiseen, sekä laakerien välyksien mittaamiseen. (Kortesmäki 2014, 41–42)

6.3.2 Voiteluöljyanalyysit

Voiteluöljyanalyysiksi kutsutaan tutkimusta, jossa tutkitaan voiteluöljyn ikää, kuntoa ja koostumusta. Voiteluöljyä voidaan analysoida jatkuvalla seurantajärjestelmällä tai vaihtoehtoisesti ottamalla näyte voiteluöljystä ja lähettämällä tämä näyte laboratorioon tarkempiin tutkimuksiin. Laivalla tehdyt analyysit ovat pääsääntöisesti vain suuntaa-antavia ja pienikin virhe mittauksissa saattaa muuttaa tuloksia radikaalisesti. Voiteluöljyanalyysissä tutkittavat minimiparametrit ovat veden määrä voiteluöljyssä, kloridipitoisuus ja partikkelien lukumäärä. Esiintyvien metallipartikkelien määrä, koko ja ulkomuoto voivat indikoida laakerivauriota esimerkiksi potkuriakselin voiteluöljyä tarkasteltaessa. (Kortesmäki 2014, 41–42; Lehtonen 2014, 28; Lloyd's Register 2009d).

Ensimmäiseksi öljyanalyysissä tutkitaan voiteluöljyn ulkonäköä. Tarkastelun kohteena on voiteluöljyn väri ja sameus. Samalla tutkitaan mahdollisten pienthiukkasten koko ja väri. Öljyn ulkonäöstä voidaan heti päätellä ja havaita poikkeamia koneiston toiminnassa. (Lehtonen 2014, 28–29)

Voiteluöljyn viskositeettia voidaan tarkastella aluksella erityisen testerin avulla. Mitattavan voiteluöljyn lämpötila tulee olla 40 C°. Testerissä verrataan öljynäytteen valumanopeutta saman öljyn puhtaan näytteen valumanopeuteen. Näin pystytään selvittämään öljyn viskositeetti suuntaa-antavasti. Halutessa tarkemman viskositeetin tuloksen, näyte tulee lähettää laboratoriotutkimuksiin. (Lehtonen 2014, 29)

Pienhiukkasia voidaan tutkia kaatamalla voiteluöljy membraanikalvon läpi, jolloin kalvon pinnalle jää öljyssä esiintyneet pienhiukkaset. Kaadetun voiteluöljyn ja pienhiukkasten painot punnitaan. Pienhiukkasten osuus voiteluöljystä ilmoitetaan painoprosenteina. Käytännössä pienhiukkasia pystytään tutki-
maan riittävän tarkasti vain laboratorio-olosuhteissa. (Lehtonen 2014, 29)

6.3.3 NDT-menetelmät

NDT-menetelmiksi kutsutaan sellaista aineen tai materiaalin koestusta ja tutki-
musta, jossa itse aineen rakennetta tai sen ominaisuuksia ei vahingoiteta,
ominaisuuksia ei muuteta ja tutkittava kappale pidetään käyttökelpoisena.
NDT-menetelmät jaotellaan kolmeen eri pääryhmään: visuaaliseen, sisäiseen
ja pintatarkastuksiin. Visuaalinen tarkastaminen yksinkertaisimmillaan on kap-
paleen silmämääräinen tarkistaminen ulkoisilta vaurioilta. Pintatarkastuksissa
tutkitaan tarkemmin kappaleen mahdollisia vaurioita erilaisia apuvälineitä käyt-
täen (esimerkkinä tunkeumanestetarkastus). Sisäisessä tarkastuksessa tutki-
taan kappaleen sisäpuolella esiintyviä rakenteellisia vikoja ja vaurioita. Edelli-
sestä esimerkiksi ultraäänitarkastukset kuuluvat kappaleen sisäiseen tarkasta-
miseen. (Piipari 2014, 14)

6.3.3.1 Visuaalinen tarkistus

Visuaalinen tarkastus on ainetta rikkomaton tarkistus, jossa tutkittava kappale
tarkastetaan vaurioilta ja vioilta silmämääräisesti, joko ilman apuvälineitä tai
apuvälineiden kanssa. Visuaalisessa tarkastuksessa voidaan havaita viat ja
vauriot, jotka esiintyvät tutkittavan kappaleen pinnassa. Apuvälineet, joita voi-
daan käyttää silmämääräisessä tarkastamisessa, ovat esimerkiksi erilaiset
suurennuslasit, peilit tutkittaessa vaikeasti saavutettavissa olevia kohtia kap-
paleessa sekä hyvä valaistus. Myös erilaisia endoskooppeja käytetään hy-
väksi. (Piipari 2014, 22–23)

6.3.3.2 Tunkeumanestetarkastus

Tunkeumanestetarkastus on NDT-menetelmä, jossa tunkeumanesteen avulla voidaan tutkia kappaleen pinnassa olevia vikoja ja vaurioita, joita silmämääräisessä tarkastamisessa ei välttämättä voida havaita. Tunkeumaneste paljastaa myös pinnanalaiset vauriot, jotka ovat kappaleen pinnan välittömässä läheisyydessä. Tunkeumanestetarkastusta ei voida suorittaa liian huokoiselle kappaleelle, koska silloin tunkeumaneste tunkeutuu kappaleen huokosiin antaen virheellistä tietoa kappaleen vaurioista. (Piipari 2014, 33–35)

Tunkeumanestetarkastussetti koostuu kolmesta osasta: puhdistusaineesta, tunkeumanesteestä ja kehitteestä. Tunkeumanestetarkastus aloitetaan puhdistamalla tutkittava kappale huolellisesti liasta, öljystä ja rasvasta. Tähän vaiheeseen käytetään puhdistusainetta. Puhdistuksen jälkeen kappaleen tutkittavalle alueelle levitetään tunkeumaneste. Sitä tulee levittää huolellisesti tasapaksu kerros kappaleen pinnan päälle. Tämän jälkeen tunkeumanesteen annetaan kuivua rauhassa. Tunkeumanesteen kuivuttua sen päälle levitetään kehite. Kehite värjää tutkittavan alueen yleensä jollain kirkkaalla värillä, jonka seasta mahdolliset viat ja vauriot näkyvät selvinä poikkeavan värisinä viiruina vasten kehiteen väriä. (Piipari 2014, 43–48)

Tarkastusmenetelmänä tunkeumanestetarkastus on erittäin tehokas. Tarkastuksen tehokkuus on tosin suoraan verrannollinen tarkastajan huolellisuuteen tarkastuksen eri vaiheissa. (Piipari 2014, 14)

6.3.3.3 Magneettijauhetarkastus

Magneettijauhetarkastus sopii ainoastaan ferromagneettisten materiaalien ja kappaleiden tutkimiseen. Tarkastuksessa kappale magnetisoidaan, jonka vuoksi kappale on oltava magnetisoituva. Tämän vuoksi se ei sovi aivan kaikkien aineiden tarkastamiseen. Magneettijauhetarkastus paljastaa viat ja vauriot kappaleen pinnalla ja pinnanalaiset vauriot pinnan välittömässä läheisyydessä. (Piipari 2014, 58)

Tarkastuksen aluksi tutkittava kappale magnetisoidaan. Tämä aiheuttaa kappaleeseen niin kutsutun magneettivuon, joka kulkee virtaviivaisesti kappaleen

läpi toisesta päästä toiseen. Mikäli kappaleessa on vika tai vaurio, magneettivuon poikkeaa vian tai vaurion kohdalla siten, että magneettivuon ”kenttä” ulottuu kappaleen ulkopuolelle. Kun kappaleen päälle ripotellaan rautaoksidahiukkasia, hiukkaset kerääntyvät magneettivuon ”kentän” kohdalle paljastaen samalla vaurion position kappaleessa. (Piipari 2014, 59)

6.3.3.4 Pyörrevirtatarkastus

Pyörrevirtatarkastus on sähkömagneettiseen induktioon perustuva NDT-tarkastusmenetelmä. Täten se soveltuu sähköä johtaviin materiaaleihin ja aineisiin. Pyörrevirtatarkastus huomaa viat ja vauriot kappaleen pinnassa ja pinnanalaiset vauriot lähellä kappaleen pintaa. (Piipari 2014, 86–87)

Sähkömagneettinen induktio synnyttää pyörrevirtalaitteistoon kuuluva pyörrevirta-anturin ja tutkittavan kappaleen ympärille magneettikentän. Nämä kaksi magneettikenttää ovat keskenään yhteydessä sähkömagneettisesti. Kenttien välillä vallitsee tasapaino. Viat ja vauriot tutkittavassa kappaleessa aiheuttavat poikkeavuuden magneettikenttien välille horjuttaen kenttien välistä tasapainoa. Tällöin pyörrevirtatarkastuslaitteistoon kuuluva indikaattori hälyttää viasta. Tarkastus voidaan suorittaa kappaleelle ilman, että kappaleeseen ollaan suorassa fyysisessä tai sähköisessä kontaktissa. (Piipari 2014, 87)

6.3.3.5 Ultraäänitarkastus

Ultraäänitarkastus on monipuolinen NDT-tarkastusmenetelmä, koska vikojen ja vaurioiden paikantamisen lisäksi sillä pystytään määrittämään tutkittavan aineen paksuutta, tutkimaan itse materiaalia ja sen kimmokertoimia. Nesteissä ultraäänitarkastuksella voidaan määrittää nesteen väkevyyttä. Sillä voidaan myös määrittää keraamisten materiaalien tiheys ja teräksen pintakarkaisun syvyyttä. Ultraäänitarkastuksella pystytään täten paljastamaan kappaleen sisäpuoliset viat ja vauriot. (Piipari 2014, 110–111)

Ultraäänitarkastus perustuu tutkittavaan kappaleeseen lähetetyn ultraäänen heijasteen tutkimiseen. Poikkeavuudet heijasteessa viittaavat kappaleessa olevaan epäjatkuvuuskohtaan. Tällaisen epäjatkuvuuskohdan aiheuttajia voivat olla esimerkiksi erilaiset säröt, halkeamat ja huokoset. Valukappaleiden valuvirheet aiheuttavat epäjatkuvuuskohtia. (Piipari 2014, 110)

7 YHTEENVETO

Tämän insinöörityön tavoite oli koota yhteen luokituslaitoksien ja viranomais-
ten sääntöjä ja määräyksiä propulsiolaitteita koskien. Samalla työn tavoite oli
esitellä propulsio-
teoriaa, propulsiolaitteita, testausmenetelmiä ja esitellä
nämä lukijalle.

Sääntöjä ja määräyksiä on useita, joista valitsin työhöni mielestäni oleellisim-
mat ja tärkeimmät. Työhön olisi saanut tuhlattua useita satoja sivuja yksityis-
kohtaisimmankin säännön kirjoittamiseen, mutta en nähnyt tätä relevantiksi
ottaen huomioon työni tavoitteet. Insinöörityöni täytti asettamani tavoitteet, jo-
ten koen onnistuneeni työssäni kohtalaisesti.

Uskon, että tulevaisuuden laitteistot ja propulsiojärjestelmät tulevat muokkaa-
maan sääntöjä jonkin verran. Yhtenä esimerkkinä tulevaisuuden propulsiolait-
teista pitäisin SkySailsin kehittämää purjetta, jonka avulla alus pystyy pienen-
tämään bunkkerin kulutusta. En usko, että merenkululla palataan takaisin pur-
jelaivakauteen, joten SkySailsin purjetta voidaan mielestäni pitää eräänlaisena
”apupropulsiolaitteena”. Mielenkiinnolla jään odottamaan, tulevatko vastaa-
vanlaiset uudet innovaatiot muokkaamaan luokituslaitoksien sääntöjä laajasti.

8 LÄHTEET

ABB. 2010. Azipod® VI Series Product Introduction. Helsinki.

[http://www05.abb.com/global/scot/scot293.nsf/veritydisplay/f524ca488f88beb2c12576e3004a96d8/\\$file/Azipod_VI_project_guide_v5.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot293.nsf/veritydisplay/f524ca488f88beb2c12576e3004a96d8/$file/Azipod_VI_project_guide_v5.pdf). [Viitattu 10.2.2015].

ABB. 2015a. ABB-teknologiat: Azipod®-propulsiojärjestelmät.

<http://www.abb.fi/cawp/seitp202/eb554116c514dcddc125784d00543c73.aspx>. [Viitattu 10.2.2015].

ABB. 2015b.- Uusi Azipod - vastustamaton potkuripakkaus. ABB Oy.

<http://www.abb.com/cawp/seitp202/d016b0703f31ba93c12578a2002637b4.aspx>. [Viitattu 24.3.2015].

Bjong E. 2011. Laivan pääkoneiston perushuolto ja luokitukset. Opinnäytetyö.

Kymenlaakson ammattikorkeakoulu. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/30996/Bjong_Esa.pdf?sequence=1. [Viitattu 24.2.2015].

Carlton J. S. 2012. Marine Propellers and Propulsion. 3. painos. Burlington: Butterworth-Heinemann is an imprint of Elsevier.

DNV GL. 2012. Part 6 Chapter 2. Newbuildings Special Equipment and Systems - Additional Class. Teoksessa Det Norske Veritas AS. Rules for Classification of Ships: Redundant Propulsion. 2012. <https://exchange.dnv.com/servicedocuments/dnv>. [Viitattu 17.3.2015].

DNV GL. 2013. Part 4 Chapter 5. Newbuildings Machinery and Systems, Main Class - Driven Units. Teoksessa Det Norske Veritas AS. Rules for Classification of Ships. 2013. <https://exchange.dnv.com/servicedocuments/dnv>. [Viitattu 25.3.2015].

Hall D. T. 2011. Practical Marine Electrical Knowledge. Uusintapainos. Edinburgh: Witherby Seamanship International.

Henderson, K. 2011. Delivery of New Shallow Draft Ferry. Artikkel. Maritime Propulsion Powering the Maritime Industry. <http://articles.maritimepropulsion.com/article/Delivery-Of-New-Shallow-Draft-Ferry-6670.aspx>. [Viitattu 27.11.2015].

Hepo-oja A. & Mäki-Kuutti V. 2012. Mekaanisen ja sähköisen propulsiojärjestelmien esittely. Opinnäytetyö. Satakunnan ammattikorkeakoulu. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/39461/Hepo-oja_Maki-Kuutti.pdf?sequence=1. [Viitattu 3.2.2015]

Hämäläinen R. 2011. Luokituslaitosten näkemykset alusten turvallisuusjohtamisjärjestelmistä. Opinnäytetyö. Kymenlaakson ammattikorkeakoulu. https://www.theseus.fi/xmlui/bitstream/handle/10024/37715/Hamalainen_risto.pdf?sequence=1. [Viitattu 24.2.2015]

Kortesmäki, M. 2014. Laivan huoltotelakointi. Opinnäytetyö. Kymenlaakson ammattikorkeakoulu. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/79137/Kortesmaki_Mikko.pdf?sequence=1. [Viitattu 5.4.2015].

Laitala, J. 2010. Ympäristöystävällisen tekniikan mahdollisuudet rajavartiolaitoksen alushankinnoissa. Tutkielma. Maanpuolustuskorkeakoulu. https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/74345/E4004_LaitalaJP_EUK62.pdf?sequence=1. [Viitattu 3.2.2015].

Lehtonen, J. 2014. Öljyanalyysien hyödyntäminen laivakäytössä. Opinnäytetyö. Kymenlaakson ammattikorkeakoulu. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/83973/Lehtonen_Joni.pdf.pdf?sequence=1. [Viitattu 5.4.2015].

Liikennevirasto. Hallinnonala. Luettavissa: <http://portal.liikennevirasto.fi/sivu/www/f/liikennevirasto/hallinnonala#.VQaStY7kdTY>. [Viitattu 16.3.2015].

Lloyd's Register. 2009a. Part 5 Main and Auxiliary Machinery, Chapter 6 Main Propulsion Shafting. Teoksessa Lloyd's Register. Lloyd's Register Rules and Regulations for the Classification of Ships. 2009.

Lloyd's Register. 2009b. Part 5 Main and Auxiliary Machinery, Chapter 7 Propellers. Teoksessa Lloyd's Register. Lloyd's Register Rules and Regulations for the Classification of Ships. 2009.

Lloyd's Register. 2009c. Part Main and Auxiliary Machinery, Chapter 9 Podded Propulsion Units. Teoksessa Lloyd's Register. Lloyd's Register Rules and Regulations for the Classification of Ships. 2009.

Lloyd's Register. 2009d. Part 1 Regulations, Chapter 3 Periodical Survey Regulations. Teoksessa Lloyd's Register. Lloyd's Register Rules and Regulations for the Classification of Ships. 2009.

MAN Diesel & Turbo. Basic Principles of Ship Propulsion. http://www.man-dieselturbo.com/files/news/files/5405/5510_004_02%20low.pdf. [Viitattu 19.11.2015].

Marine Insight 2010. Propeller, Types of Propellers and Construction of Propellers. <http://www.marineinsight.com/naval-architecture/propeller-types-of-propellers-and-construction-of-propellers/>. [Viitattu 15.2.2016].

Marine Insight. 2011. Different Types of Marine Propulsion Systems Used in the Shipping World. <http://www.marineinsight.com/tech/main-engine/different-types-of-marine-propulsion-systems-used-in-the-shipping-world/>. [Viitattu 26.11.2015].

Matusiak, J. 2005. Laivan propulsio. 6. painos. Espoo: Teknillinen korkeakoulu, Laivalaboratorio.

The Motorship. 2011. Windfarm and Dive Support Expansion Provides Orders for Waterjets. <http://www.motorship.com/news101/engines-and-propulsion/windfarm-and-dive-support-expansion-provides-orders-for-waterjets>. [Viitattu 26.11.2015]

The Motorship. 2014. Stadt Wins Seismic Ship Propulsion Order from Turkey. <http://www.motorship.com/news101/engines-and-propulsion/stadt-wins-seismic-ship-propulsion-order-from-turkey>. [Viitattu: 19.11.2015]

Oksanen T. 2013. Sähköinen ruoripotkuri. Insinöörityö. Kymenlaakson ammattikorkeakoulu. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/65603/Oksanen_Tero.pdf?sequence=1. [Viitattu 10.2.2015]

Piipari, T. 2014. Yleisimmät NDT-tekniikat, ja niiden soveltaminen laivojen kunnossapidossa. Opinnäytetyö. Kymenlaakson ammattikorkeakoulu. http://theseus.fi/bitstream/handle/10024/84172/Piipari_Tuomo.pdf?sequence=1. [Viitattu 2.11.2015].

Rolls-Royce 2015a. Marine. Products. <http://www.rolls-royce.com/customers/marine/about-marine/products/thrusters.aspx>. [Viitattu 5.4.2015].

Rolls-Royce 2015b. Marine. Propulsion. Moving Your Business in the Right Direction. Aalesund. http://www.rolls-royce.com/Images/Propulsion_2014_tcm92-8664.pdf. [Viitattu 10.2.2015].

TRAFI/101742/03.04.01.00/2014. Liikenteen turvallisuusvirasto Trafi. Määräys alusten koneistoista. http://www.finlex.fi/data/normit/41954-TRAFI_10742_03_04_01_00_2014_FI_Alusten_koneistot_valmis.pdf. [Viitattu 18.3.2015].

TRAFI/9321/03.04.01.00/2013. Liikenteen turvallisuusvirasto Trafi. Määräys alusten runkorakenteista. http://www.finlex.fi/data/normit/41622-TRAFI_9321_03_04_01_00_2013_FI_Alusten_runkorakenteet.pdf. [Viitattu 25.3.2015]

Trafi 2015a. Tietoa Trafista. http://www.trafi.fi/tietoa_trafista. [Viitattu 16.3.2015].

Trafi 2015b. Merenkulku. <http://www.trafi.fi/merenkulku>. [Viitattu 16.3.2015].

Wärtsilä. 2015. Wärtsilä Controllabe Pitch Propeller Systems. <http://www.wartsila.com/products/marine-oil-gas/propulsors-gears/propellers/wartsila-control-labe-pitch-propeller-systems>. [Viitattu 26.11.2015]